

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Viabilidade de Painéis Híbridos Solares para preparação de AQS e Autoconsumo de Eletricidade

Telmo Mendes Teixeira Barbosa

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Jorge Maia Alves

2020

Resumo

Nos dias que correm presenciamos uma fase activa da transição energética mundial. Sendo a produção de energia a partir de fontes renováveis um dos focos principais desta transição o interesse e investigação de novas tecnologias tem vindo a crescer cada vez mais. Entre as diferentes fontes de energias renováveis a energia solar fotovoltaica tem um papel de extrema importância na redução da utilização de combustíveis fósseis uma vez que o seu custo tem vindo a reduzir significativamente.

No entanto, apesar de os painéis solares fotovoltaicos serem alvos de estudo e estarem no mercado há vários anos, ainda não conseguem obter rendimentos muito elevados, sendo a conversão de energia solar em energia eléctrica usando este tipo de tecnologia caracterizada por ter, tipicamente, uma eficiência da ordem de 20%. Acresce que, sobretudo no verão, a temperatura dos módulos fotovoltaicos pode chegar aos 80 °C, e uma das consequências deste aquecimento das células fotovoltaicas é a queda do seu rendimento, que decresce cerca de 0,5% por cada grau Celsius de aumento de temperatura.

Uma solução para este problema pode ser a utilização de uma serpentina que transporta água na parte traseira do painel servindo como sistema de refrigeração das células fotovoltaicas. Para além da remoção do calor das células fotovoltaicas, o que implica um aumento da eficiência fotovoltaica, esta solução leva ainda à possibilidade de fazer, com o mesmo painel solar, produção extra de água quente. Desta forma surgiu o conceito do painel híbrido, maximizando o rendimento global painel, para valores acima dos 50%, devido à produção combinada de energia térmica e eléctrica. Esta tecnologia é alvo de estudo há algumas décadas, já existindo algumas soluções no mercado e outras em fase de investigação.

No âmbito de um estágio realizado na empresa Enforce foi-me proposta a realização de um estudo sobre a viabilidade produtiva e económica dos Painéis Solar Híbridos, com o objetivo de vir a lançar um produto no mercado juntamente com os *Kits* de Autoconsumo. Este estudo viria a revelar que, de acordo com a literatura existente, uma das maiores limitações do painel híbrido é o seu fraco desempenho na produção de calor devido às características das células fotovoltaicas, nomeadamente, a sua elevada reflectividade quando comparada com os emissores selectivos normalmente usados no fabrico de painéis solares térmicos.

Sendo o painel híbrido uma tecnologia capaz de produzir eletricidade e água quente através do mesmo painel, nesta dissertação estudou-se a viabilidade da utilização de painéis híbridos comparativamente a outras tecnologias de conversão de energia solar nomeadamente: o painel fotovoltaico, o coletor térmico e a combinação bomba de calor alimentada por electricidade produzida a partir de painéis fotovoltaicos. Esta comparação foi feita através de simulações a nível de produção eléctrica no software PV-SOL e produção térmica no software Solterm5, seguida de uma análise económica, em que se compararam as diferentes tecnologias a nível de investimento, período de retorno e *cash-flow*.

Palavras-Chave: Painel Solar Híbrido, Painel Fotovoltaico, Painel Solar Térmico, Energia Solar, Efeito fotoelétrico;

Abstract

These days we are witnessing an active phase of a global energy transition. Since the production of energy from renewable sources is one of the main focuses of this transition, the interest and research in new technologies has been growing more and more. Among the different sources of renewable energy, photovoltaic solar energy has an extremely important role in reducing the use of fossil fuels since its cost has been significantly reduced.

However, despite the fact that photovoltaic solar panels are the target of study and have been on the market for several years, they are still unable to obtain very high efficiencies, with the conversion of solar energy into electrical energy using this type of technology characterized by having, typically, a conversion efficiency of about 20%. In addition, especially in the summer, the temperature of the photovoltaic modules can reach 80 ° C, and one of the consequences of this heating of the photovoltaic cells is the drop in their conversion efficiency, which decreases by about 0.5 % for each degree Celsius of temperature increase.

A solution to this problem may be the use of a coil that carries water at the rear of the panel, serving as a cooling system for photovoltaic cells. In addition to removing heat from the photovoltaic cells, which implies an increase in photovoltaic efficiency, this solution also leads to the possibility of making, with the same solar panel, extra production of hot water. This way, the concept of the hybrid panel emerged, maximizing the overall panel performance, for values above 50%, due to the combined production of thermal and electrical energy. This technology has been the subject of study for some decades, with some solutions already on the market and others under investigation.

As part of an internship at the Enforce company, I was asked to conduct a study on the productive and economic feasibility of Solar Hybrid Panels, with the aim of launching a product on the market together with the Self-Consumption Kits. This study would reveal that, according to the existing literature, one of the biggest limitations of the hybrid panel is its poor performance in heat production due to the characteristics of photovoltaic cells, namely, its high reflectivity when compared to selective emitters normally used in the manufacture of solar thermal panels.

Since the hybrid panel is a technology capable of producing electricity and hot water through the same panel, this dissertation studied the feasibility of using hybrid panels compared to other solar energy conversion technologies, namely: the photovoltaic panel, the thermal collector and the heat pump combination powered by electricity produced from photovoltaic panels. This comparison was made through simulations at the level of electrical production in the PV-SOL software and thermal production in the Solterm5 software, followed by an economic analysis, in which the different technologies were compared in terms of investment, payback period and cash flow.

Keywords: Hybrid Solar, Photovoltaic panel, Hot water solar heater, Solar Energy, Photoelectric effect;

Índice

| | |
|---|-----------|
| Capítulo 1 - Introdução | 10 |
| Motivação | 10 |
| Conversão solar fotovoltaica | 11 |
| Conversão solar térmica | 13 |
| Sistemas solares híbridos | 15 |
| Capítulo 2 – Métodos | 20 |
| Simulação Fotovoltaica | 21 |
| Estimativas dos Consumos Elétricos | 22 |
| Introdução dos consumos no PVSOL | 24 |
| Introdução dos painéis híbridos e fotovoltaicos no programa | 25 |
| Escolha do inversor..... | 26 |
| Simulação Térmica..... | 27 |
| Seleção do Local em estudo..... | 27 |
| Estimativa de consumo de AQS | 28 |
| Distribuição do consumo | 29 |
| Apoio do Sistema Térmico | 30 |
| Escolha do depósito de Armazenamento | 30 |
| Introdução dos coletores usados no programa | 31 |
| Estudo de uma solução do tipo bomba de calor + PV | 32 |
| Capítulo 3 - Resultados..... | 34 |
| Resultados das Simulações | 34 |
| Resultados da simulação fotovoltaica | 34 |
| Resultados da Simulação Térmica | 36 |
| Resultados da Bomba de Calor | 37 |
| Análise económica | 38 |
| CASO 1: Habitação com PVT | 38 |
| CASO 2: Habitação com Painéis <i>Standard</i> | 39 |
| CASO 3: Bomba de Calor + PV | 41 |
| Cálculo do Período de Retorno e Cash-flow..... | 41 |
| Conclusões | 49 |
| Referências Bibliográficas | 50 |

Índice de Figuras

| | |
|--|-------------------------------------|
| Figura 1 - Temperatura de uma célula fotovoltaica e de um painel híbrido..... | 11 |
| Figura 2 - Influência do Calor na eficiência fotovoltaica..... | 12 |
| Figura 3- Coletor Solar Térmico. | Error! Bookmark not defined. |
| Figura 4 - Componentes Sistema Solar Térmico..... | 13 |
| Figura 5 - Secção de um Painel Solar Híbrido. | 15 |
| Figura 6 - Componentes de um Sistema híbrido. | 15 |
| Figura 7 - Célula fotovoltaica transparente. | 17 |
| Figura 8 - Células fotovoltaicas bifaciais com espaçamento..... | 17 |
| Figura 9 – Virtu -Tecnologia PVT a Vácuo com células fotovoltaicas. | 18 |
| Figura 10 - Irradiação horizontal global..... | 21 |
| Figura 11 - Introdução dos consumos estimados no PVSol. | 24 |
| Figura 12 - Características Elétricas dos painéis em estudo..... | 26 |
| Figura 13 - Escolha do inversor no PVSOL..... | 26 |
| Figura 14 - Seleção do local em estudo no Solterm. | 27 |
| Figura 15 - Consumo Mínimo (T1 com 2 pessoas)..... | 28 |
| Figura 16- Consumo Máximo (V5 com 6 pessoas)..... | 28 |
| Figura 17 - Perfil de temperatura de consumo e à entrada. | 29 |
| Figura 18 - Distribuição dos Consumos. | 29 |
| Figura 19 - Sistema de Apoio..... | 30 |
| Figura 20 – Seleção dos Depósitos consoante as necessidades..... | 30 |
| Figura 21 - Introdução do Fototherm no sistema Solterm..... | 31 |
| Figura 22 - Bomba de Calor..... | Error! Bookmark not defined. |
| Figura 23 – Exemplo de um Sistema PVT + Bomba de calor. | 33 |
| Figura 24 - Produção Elétrica por Watt pico dos diferentes painéis em Lisboa. | 35 |
| Figura 25 - Cash-flow atualizado para o painel híbrido. | 46 |
| Figura 26 - Cash-flow atualizado para o combinado Jinko e Nuos..... | 48 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|-------------------------------------|
| Tabela 1- Características Térmicas dos Painéis Híbridos em estudo. | 20 |
| Tabela 2 - Estimativa do consumo mensal de um apartamento T1. | 22 |
| Tabela 3 - Estimativa do consumo mensal de uma moradia V5. | 23 |
| Tabela 4 – Estimativa de consumo Elétrico de uma Padaria com fabrico próprio. | 24 |
| Tabela 5- Características elétricas dos painéis fotovoltaicos. | 25 |
| Tabela 6- Características Elétricas dos Painéis Híbridos. | 25 |
| Tabela 7 - Características Térmicas dos coletores em estudo retiradas das Datasheets. | 31 |
| Tabela 8 - Simulação Fotovoltaica em kWh por ano para Lisboa para os painéis híbridos. | 34 |
| Tabela 9 - Simulação Fotovoltaica em kWh por ano para a Covilhã. | 35 |
| Tabela 10 - Resultado da produção fotovoltaica em kWh/ W_p | Error! Bookmark not defined. |
| Tabela 11 - Simulação Térmica em kWh para Lisboa. | 36 |
| Tabela 12- Simulação Térmica em kWh para a Covilhã. | 36 |
| Tabela 13 - Simulação Térmica em kWh por metro quadrado para Lisboa. | 36 |
| Tabela 14 - Dados Bomba de Calor Nuos. | 37 |
| Tabela 15 - Cálculo da poupança no Caso 1. | 39 |
| Tabela 16 - Características dos Painéis Fotovoltaicos. | 39 |
| Tabela 17 - Características dos Painéis Térmicos. | 40 |
| Tabela 18 - Poupança anual de energia de cada painel e coletor. | 40 |
| Tabela 19 - Estudo económico para cada combinação standard. | 40 |
| Tabela 20 - Combinação Jinko e Nuos. | 41 |
| Tabela 21 - Resumo das várias soluções energéticas. | 41 |
| Tabela 22 - Estudo de investimento da combinação REC e BAXI. | 43 |
| Tabela 23 - Resumo de parâmetros e resultados para o sistema REC + BAXI. | 44 |
| Tabela 24 - Estudo de Investimento para Fototherm CS. | 45 |
| Tabela 25 - Resumo de parâmetros e resultados para o sistema híbrido Fototherm CS. | 46 |
| Tabela 26 - Estudo de Investimento para Jinko + Nuos. | 47 |
| Tabela 27 - Resumo de parâmetros e resultados para o sistema Fototherm AL + NUOS. | 48 |

“We cannot solve our problems with the same thinking we used when we created them”

Albert Einstein

Simbologia e Notações

| | |
|--------|---|
| A | Área do Módulo (m^2) |
| AQS | Águas Quentes Sanitárias |
| | Coefficiente de perdas térmicas 1 $W/(.m^2K)$ |
| | Coefficiente de perdas térmicas 2 $W/(m^2.K)$ |
| | Calor Específico da Água ($J/ (Kg. K)$) |
| DAQ | <i>Data Acquisition</i> |
| | Energia Térmica Gerada (kWh) |
| | Irradiação Solar W/m^2 |
| h | Horas (h) |
| | Corrente de Curto-Circuito (A) |
| | Corrente de Potência Máxima (A) |
| | Caudal mássico de água (g) |
| PVT | Photovoltaic-Thermal |
| S | Superfície (m^2) |
| SWOT | Strenght Weakness Opportunities |
| | Temperatura de entrada no coletor (C°) |
| | Temperatura de saída do coletor (C°) |
| | Temperatura do módulo (C°) |
| | Temperatura ambiente (C°) |
| | Tensão de Circuito Aberto (V) |
| | Tensão de Potência máxima (V) |
| | Watt (W) |
| | Declinação Solar ($^\circ$) |
| η | Rendimento (%) |
| | Rendimento Térmico (%) |
| | Rendimento Paineis Híbrido (%) |
| | Rendimento Elétrico (%) |
| | Ângulo Azimutal ($^\circ$) |

Capítulo 1 - Introdução

Motivação

Esta dissertação tem por objetivo estudar o desempenho de vários painéis híbridos avaliando o seu rendimento térmico e elétrico e comparando-os, respetivamente, com coletores térmicos e painéis fotovoltaicos. Para isso utilizaram-se *softwares* como o Solterm e o PV-Sol de forma a prever a produção energética dos coletores térmicos, painéis fotovoltaicos e dos painéis híbridos em vários cenários.

Em pleno 2020 as necessidades de eletricidade e água quente sanitária no quotidiano têm aumentado, o que, juntamente com a subida do preço dos combustíveis fósseis, cria uma maior necessidade por um método mais barato eficiente e limpo de obter energia. De entre os diferentes tipos de energias renováveis, a energia solar tem um papel de extrema importância na redução da utilização de combustíveis fósseis. De facto, apesar da eficiência típica deste tipo de sistemas não ser elevada, concretamente cerca de 20% no caso dos painéis solares fotovoltaicos, a recente tendência de diminuição do respetivo custo por kW_p torna-os claramente competitivos. Acresce que este tipo de sistemas é intrinsecamente modular, o que significa que, contrariamente ao que acontece com a energia hídrica ou eólica, a energia solar tanto pode ser aplicada de forma descentralizada, por exemplo em residências, como de forma centralizada, em centrais de produção de larga escala.

A eficiência dos painéis fotovoltaicos diminui com o aumento da temperatura das células solares. Tipicamente, no Verão, a temperatura dos módulos fotovoltaicos pode chegar aos 80 °C e uma das consequências do aquecimento das células fotovoltaicas é a queda do rendimento do painel, que decresce cerca de 0,5% por cada grau Celsius de aumento de temperatura. Uma forma de minorar este problema pode ser a utilização de uma serpentina que transporta água na parte traseira do painel servindo como uma espécie de sistema de refrigeração das células fotovoltaicas. Com este tipo de solução, não só acontece a remoção do calor dos painéis fotovoltaicos, o que implica o aumento da sua eficiência de conversão fotovoltaica, como também ocorre uma produção extra de água quente. Desta forma, consegue-se maximizar o rendimento global do painel, segundo vários fabricantes para valores acima dos 50%, através da produção combinada de energia térmica e elétrica. Este tipo de aplicação tem sido desenvolvido por várias empresas, que o designam geralmente como Kit Solar.

Conversão solar fotovoltaica

A conversão solar fotovoltaica consiste na conversão direta de radiação solar em eletricidade. Esta conversão pode ser feita numa célula fotovoltaica, um dispositivo que consiste numa junção p-n feita num material semicondutor, normalmente o Silício. Durante o processo de conversão os fótons excitam os eletrões para níveis superiores de energia, criando assim pares eletrão-buraco cuja posterior recombinação pode produzir energia elétrica que pode ser recolhida numa resistência de carga ligada aos terminais do dispositivo.

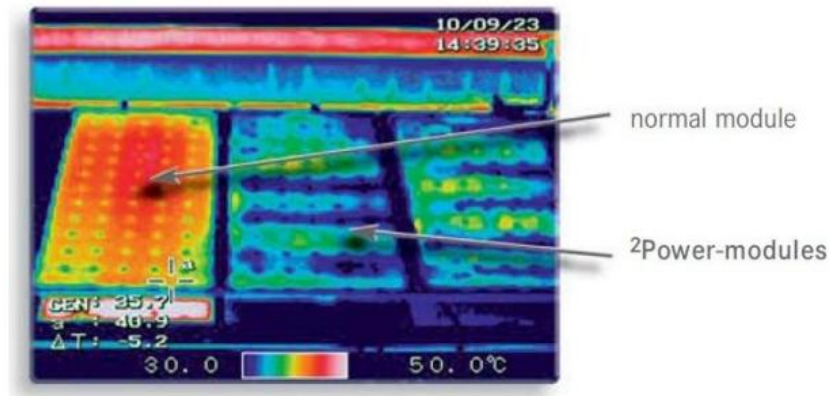


Figura 1 - Temperatura de uma célula fotovoltaica e de um painel híbrido.

O rendimento de um módulo fotovoltaico depende da sua temperatura de funcionamento, pois 15-20% da radiação incidente é convertida em eletricidade, mas parte da restante resulta em energia térmica, levando ao sobreaquecimento do módulo.

A eficiência de um modulo fotovoltaico é dada por:

$$\text{---} (1)$$

O aumento de temperatura provoca uma diminuição da tensão o que, pela análise da equação acima, se traduz numa diminuição da eficiência do módulo.

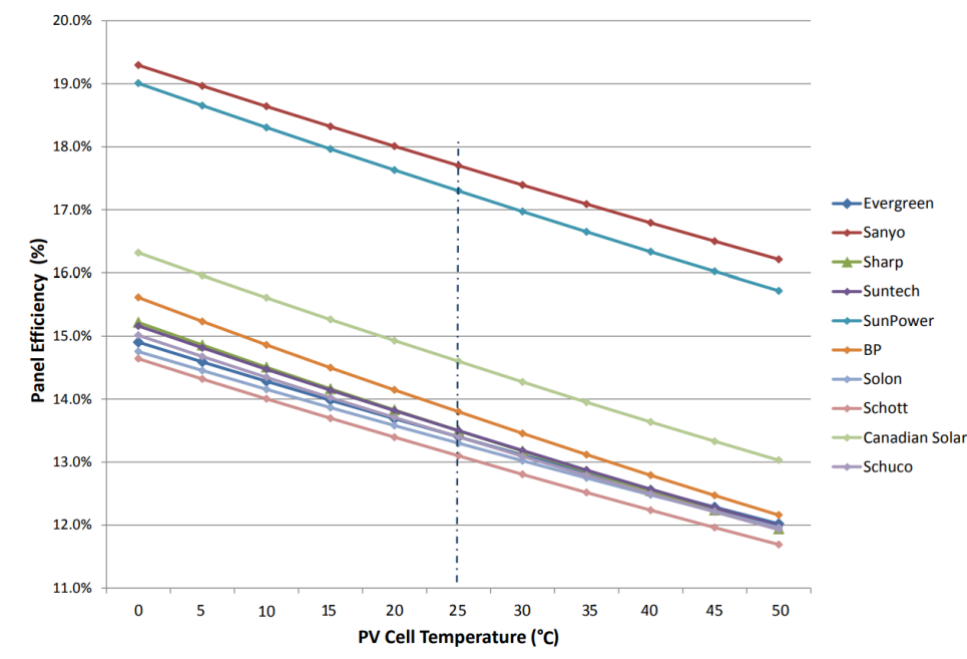


Figura 2 - Influência do Calor na eficiência fotovoltaica.

Observando a Figura 2 é evidente a influência da temperatura de funcionamento das células fotovoltaicas na eficiência dos módulos, verificando-se uma relação inversamente proporcional. O sobreaquecimento do painel pode levar o rendimento dos painéis para os 15%, uma vez que o rendimento fotovoltaico decresce cerca de 0.5% cada grau de temperatura elevado, segundo um artigo chamado “the-impact-of-temperature-on-solar-panels” presente no thegreenage.co.uk.

Os sistemas fotovoltaicos não requerem muito trabalho a nível de manutenção pois basta verificar as ligações entre o painel e o inversor e serem limpos de seis em seis meses de forma a retirar a sujidade depositada na parte superior pois esta, ao ficar acumulada, obstrui a entrada de luz tendo um impacto significativo no rendimento do painel. Nestas condições, o custo da manutenção dos sistemas fotovoltaicos é praticamente zero a não ser que algum material tenha uma avaria inesperada.

Conversão solar térmica

Para além da produção de eletricidade, também existem painéis solares dedicados ao aquecimento de água, normalmente mais usados para consumo próprio em habitações. Existem vários tipos de sistemas solar térmicos, mas a base deste processo é bastante simples.

O funcionamento de um coletor é bastante simples, a radiação solar ao incidir sobre a cobertura de vidro do coletor, divide-se sendo que grande parte da radiação entra no seu interior ficando aprisionada sendo e a restante é refletida. A radiação absorvida por sua vez é transferida sob a forma de calor para o fluido, fazendo assim com que este aqueça e circule no interior das serpentinas num circuito fechado, estando as serpentinas em contacto direto com a água num permutador ou diretamente num depósito dependendo do tipo de sistema ocorre transferência de calor por condução levando ao aquecimento da água, podendo mais tarde ser misturada com água fria, este funcionamento torna-se bastante perceptível através da Figura 3.

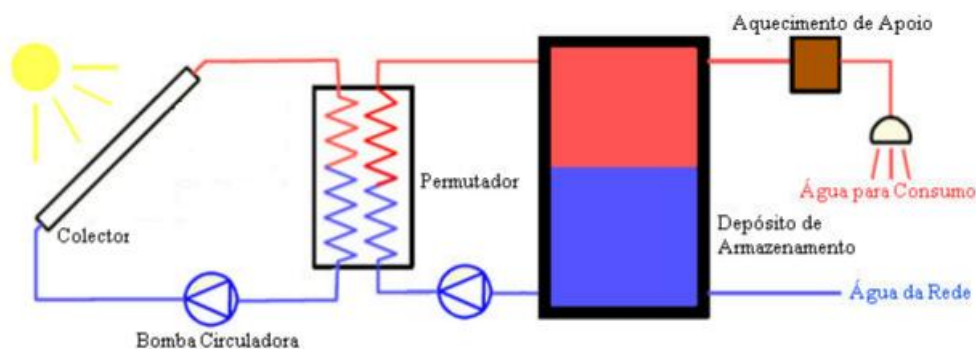


Figura 3 - Componentes Sistema Solar Térmico.

Ao contrário dos painéis fotovoltaicos os coletores térmicos têm melhor eficiência quanto maior for a sua temperatura, sendo esta dada por:

$$\text{—————} \quad (2)$$

Existem outras soluções para aquecimento de água como, por exemplo, os tubos de vácuo, que se destacam das restantes soluções pelas altas temperaturas atingidas pelo fluido que transporta a energia térmica. Este tipo de tecnologia não é normalmente usado para produção de água quente sanitária, mas antes em processos industriais.

Em termos de manutenção, tal como acontece com os sistemas fotovoltaicos, qualquer painel solar térmico também deve ser limpo com alguma regularidade de maneira a evitar que a sujidade obstrua a captação de luz, no entanto, além disto, o sistema térmico envolve muitos mais custos de manutenção, pois também é necessária a substituição e reparação de alguns componentes de forma a evitar problemas como calcificação, congelamento e a corrosão. Para lidar com esse facto geralmente estes sistemas térmicos são vendidos em conjunto com um contrato anual de manutenção cujo valor é calculado como uma percentagem do investimento, normalmente entre 10% e os 15%.

Sistemas solares híbridos

O painel solar híbrido começou a ser alvo de estudo em 1980, no MIT, com o objetivo de evitar o sobreaquecimento das células fotovoltaicas. Simplificadamente juntaram-se a células fotovoltaicas serpentinadas de um painel solar térmico servindo como uma espécie de sistema de refrigeração criando assim o primeiro protótipo de um Painel Solar Híbrido (PVT).

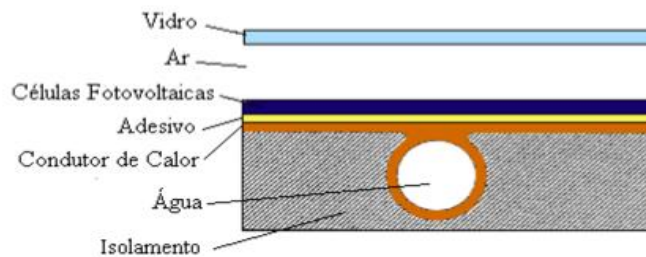


Figura 4 - Secção de um Painel Solar Híbrido.

Uma vez que o PVT consiste apenas na junção de um painel fotovoltaico com um coletor térmico, este tem ambas as componentes externas dos dois sistemas, como se representa na Figura 5.

Os componentes principais da parte elétrica deste sistema são os cabos de ligação, inversor, bateria deforma a uniformizar a produção para o consumo elétrico, regulador e a ligação á rede elétrica.

Em relação a parte térmica são indispensáveis para o funcionamento tubagens, depósito de armazenamento, purgador, válvulas, regulador de caudal e termómetros de ida e retorno, bomba de circulação.

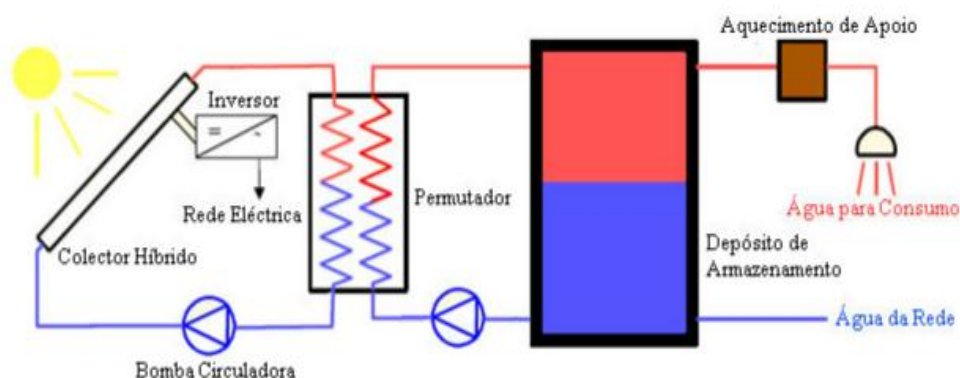


Figura 5 - Componentes de um Sistema híbrido.

Como foi referido anteriormente a eficiência do painel fotovoltaico decresce com o aumento da sua temperatura de funcionamento, no entanto, a água a circular na parte traseira do painel arrefece as células permitindo estas funcionar de forma mais eficiente. Além deste benefício a eletricidade e água quente podem ser obtidas a partir da mesma estrutura, poupando espaço de

telhado. Já existem hoje vários tipos de tecnologias PVT, cada uma com diferentes aplicações, custos de instalação e características de desempenho.

A eficiência de um painel solar híbrido é facilmente calculada, através de:

$$(3)$$

correspondendo, portanto, à soma do seu rendimento fotovoltaico, ou seja, a percentagem de energia da radiação solar recebida que é convertida em eletricidade, com o seu rendimento térmico, ou seja, a percentagem de energia da radiação solar recebida que é convertida em calor.

Estas tecnologias possuem geralmente rendimentos térmicos mais baixo que os Coletores Térmicos, essencialmente por quatro fatores:

- Uma fração da radiação solar incidente é diretamente convertida em eletricidade pelas células solares;
- O coeficiente de absorção da superfície fotovoltaica é menor do que o de um coletor térmico levando a várias perdas por reflexão (num coletor normal o coeficiente de absorção é cerca de 95% enquanto num coletor híbrido situa-se entre 75 – 85%);
- A resistência térmica, entre a superfície absorvente e o fluido do coletor, aumenta devido à adição de sucessivas de camadas de material levando a um coeficiente de transferência de calor menor, o que tem um efeito depreciativo no rendimento térmico;
- A superfície fotovoltaica não é um emissor seletivo, resultando em elevadas perdas térmicas por radiação. De facto, o silício possui uma elevada emissividade a comprimentos de onda longos, originando elevadas perdas por radiação.

Têm sido feitas várias tentativas de otimização dos sistemas híbridos que, no entanto, acabam sempre por comprometer o rendimento geral do sistema, afetando, ou a parte térmica, ou a parte fotovoltaica. Descrevem-se seguidamente algumas destas tentativas.

Para contrariar então o baixo rendimento térmico dos painéis solares híbridos a solução mais óbvia seria aumentar a quantidade de radiação incidente nas serpentinas pois parte delas é bloqueada pelas células fotovoltaicas. A solução mais evidente seria usar células fotovoltaicas transparentes, mas o problema destas é a sua eficiência de 5-7% que compromete fortemente o desempenho do sistema híbrido no que se refere à sua componente fotovoltaica tanto como a viabilidade económica.

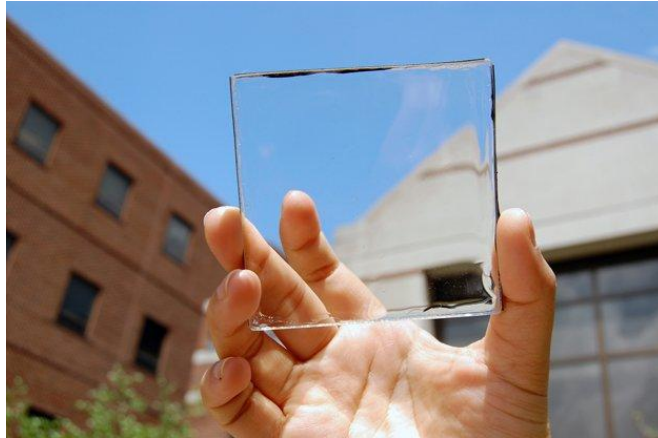


Figura 6 - Célula fotovoltaica transparente.

Outra opção é recorrer à utilização de painéis fotovoltaicos com maior espaçamento entre as células, permitindo maior quantidade de radiação ser aproveitada a nível térmico. Esta opção é usada em painéis híbridos que utilizam células bifaciais com um nível de espaçamento entre si que, apesar de deixar passar alguma radiação, permite reaproveitar alguma dela após ser refletida nas componentes do sistema térmico na parte traseira das células fotovoltaicas alcançando assim uma eficiência superior.



Figura 7 - Células fotovoltaicas bifaciais com espaçamento.

Outra tentativa de aumentar o rendimento térmico de um sistema híbrido foi a de usar tubos a vácuo, pois têm uma eficiência térmica superior aos coletores planos *standard*. Uma destas tentativas foi feita através da junção de células fotovoltaicas à estrutura de um tubo a vácuo, tentando criar assim um tubo híbrido capaz de produzir eletricidade e água quente, conseguindo assim obter rendimentos térmicos superiores aos painéis híbridos do tipo plano. Esta foi a ideia posta em prática pela empresa Naked Energy em conjunto com o Imperial College que deu origem à tecnologia Virtu.



Figura 8 – Virtu -Tecnologia PVT a Vácuo com células fotovoltaicas.

O Paineis híbrido, como contém os componentes de ambos o sistema, fotovoltaico e térmico, conta com uma manutenção semelhante ao do sistema solar térmico, sendo necessário fazer uma limpeza e a verificação de todos os componentes regularmente de maneira evitar consequências mais graves.

Durante a manutenção destes sistemas os procedimentos normais envolvem limpeza da sujidade acumulada na parte superior, verificar se as conexões elétricas, fissuras, fugas, bombas e válvulas.

Apesar dos sistemas solares híbridos serem alvo de estudo desde 1980 não existem, ainda hoje, muitas tecnologias implantadas no mercado. Enumeram-se seguidamente as tecnologias e marcas mais bem-sucedidas atualmente no mercado.

- **Dual Sun**

DualSun é um painel solar híbrido desenvolvido em França, e a empresa já conta com 800 instalações e 15 prémios.

- **Solar Angel**

Solar Angel é uma tecnologia híbrida com 250 watts elétricos e 650 watts térmicos de pico desenvolvida em Inglaterra Quando instalados corretamente consegue produzir mais 20% do que os fotovoltaicos convencionais.

- **FotothermAl e Fototherm CS**

Foram construídos em 2006 pela empresa Italiana Fototherm. Ambos os modelos são certificados e já se encontram no mercado.

- **PowerTherm e PowerVolt (Volther)**

A empresa turca Solimpeks desenvolveu dois painéis híbridos, um desenhado para otimizar o rendimento térmico e outro construído para obter melhor desempenho a nível fotovoltaico.

- **Naked Energy (Virtu)**

A Naked energy é uma empresa inglesa que desenvolveu uma tecnologia híbrida em parceria com o departamento de investigação da Imperial College, o Virtu, que, como anteriormente mencionado, consiste num tubo de vácuo com células fotovoltaicas no seu interior. Apesar de ainda não estar disponível no mercado já conta com várias instalações com o intuito de investigação apenas.

Apresenta-se seguidamente uma análise SWOT possível para os sistemas solares híbridos.

Forças:

- Economiza o espaço no telhado face a instalação de dois sistemas;
- Arrefecimento das células fotovoltaicas a partir do solar térmico;
- Gera uma maior quantidade de energia elétrica por m² em relação ao PV tradicional;
- Menor custo de instalação em comparação com a instalação de dois sistemas.

Fraquezas

- A produção de calor não é tao eficiente como um Painei Térmico;
- Por não haver ainda muitos painéis híbridos certificados no mercado torna-se um produto que não aspira confiança ao público-alvo;
- Painéis ligeiramente mais pesados que os normais;
- Potencialmente perigoso se o fluido de aquecimento da parte térmica vazar para os componentes elétricos da parte elétrica.

Oportunidades

- Bom timing para lançar uma nova tecnologia renovável pois situamo-nos numa época de transição entre as energias convencionais e as renováveis;
- Solução certa para melhorar a eficiência do painel fotovoltaico.

Ameaças

- Para locais com maior área de telhado mais vale apostar em sistemas separados;
- Tecnologias semelhantes, mas mais eficientes irão aparecer.

Capítulo 2 – Métodos

Neste capítulo discutem-se os métodos utilizados num estudo comparativo entre quatro painéis híbridos, dois painéis fotovoltaicos e dois painéis térmicos para colmatar as necessidades de um apartamento T1, uma habitação V5 e uma padaria com fabrico próprio em duas cidades diferentes: Lisboa e Covilhã.

Usou-se o Solterm Software concebido pelo LNEG, o SCE.er (Sistema de Certificação Energética) da Direção-geral de Energia e Geologia para o cálculo do rendimento dos painéis térmicos e o *software* PV-Sol para o rendimento dos painéis fotovoltaicos.

Foram escolhidos os seguintes painéis Híbridos: Dual Sun; Fototherm AL; Fototherm CS; e PowerTerm. A

Tabela 1 resume as principais características dos painéis híbridos selecionados.

| Marca | Dual Sun | Fototherm AL | Fototherm CS | PowerTerm |
|--|----------|--------------|--------------|-----------|
| Área Total [m ²] | 1,66 | 1,60 | 1,6 | 1,42 |
| Área de Absorção [m ²] | 1,65 | 1,58 | 1,59 | 1,4 |
| Rendimento ótico [%] | 51 | 58,3 | 56 | 49 |
| Coefficiente de Perdas a ₁ | 11,4 | 6,08 | 9,12 | 4,1 |
| Coefficiente de Perdas a ₂ | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabela 1- Características Térmicas dos Painéis Híbridos em estudo.

Como termos de comparação de rendimento elétrico foram selecionados os seguintes painéis fotovoltaicos: Jinko250; e Rec250. De maneira a comparar a performance térmica foram escolhidos os seguintes coletores térmicos: Baxi Sol 250; e Kaplan 2.0 devido a serem modelos os modelos mais comuns no país.

As simulações foram consideradas para as zonas climáticas de Lisboa e Covilhã, com os painéis orientados a Sul, com uma inclinação de 34°. De forma a ter um leque de resultados mais amplo, podendo estudar a eficiência dos painéis fotovoltaicos e térmicos em diferentes casos, foram considerados três cenários: apartamento (T1), moradia (V5) e padaria.

Simulação Fotovoltaica

A simulação fotovoltaica tem por objetivo estudar a performance dos vários painéis voltaicos e dos PVT, nas mesmas situações, tendo para isso sido usado o programa PV*Sol, software para modelagem e simulação de sistemas fotovoltaicos.

O primeiro passo na simulação consiste na escolha do local, uma vez que cada local recebe diferentes quantidades de radiação por m^2 que depende, por exemplo, do clima da região. Este parâmetro é, portanto, relevante para a produção elétrica dos painéis que está diretamente relacionada com a quantidade de radiação incidente no painel.

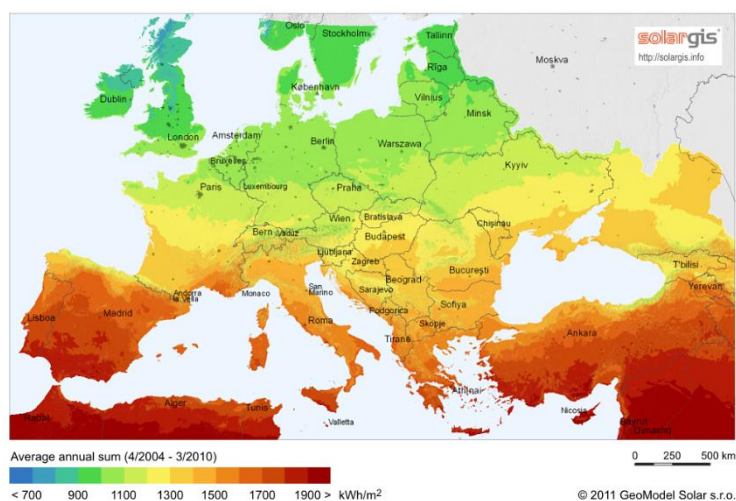


Figura 9 - Irradiação horizontal global.

Estimativas dos Consumos Elétricos

De forma a obter uma estimativa aproximada da energia consumida mensalmente em cada caso de estudo, fez-se uma análise aos aparelhos que gastam mais eletricidade numa habitação e, através da sua potência nominal, e as respetivas horas de funcionamento, estimou-se a energia utilizada em cada caso mensalmente em kWh.

Numa primeira fase estimou-se o consumo de um apartamento T1, acondicionado para dois moradores com os seguintes equipamentos e consumos.

| Consumo Mensal (T1) | Potência [kW] | Tempo de funcionamento Diária [h] | Tempo de funcionamento Mensal [h] | Consumo Mensal [kWh] |
|--------------------------------|--------------------------|--|--|---------------------------------|
| Frigorífico | 0,5 | 4 | 120 | 60 |
| Iluminação | 0,15 | 3 | 90 | 13,5 |
| Máquina da Louça | 0,78 | 0,5 | 16 | 12,6 |
| Forno Elétrico | 2,5 | 0,5 | 12 | 11 |
| Ferro de Engomar | 0,8 | 0,4 | 12 | 10,3 |
| Máquina da Roupas | 0,48 | 0,4 | 12 | 5,8 |
| Computador | 0,25 | 3 | 90 | 22,5 |
| Micro-Ondas | 1 | 0,13 | 4 | 4,3 |
| Televisão | 0,09 | 4 | 120 | 10,8 |
| | | | Total Mensal: | 150 kWh |

Tabela 2 - Estimativa do consumo mensal de um apartamento T1.

Através do mesmo processo foi feita outra estimativa para um apartamento de maiores dimensões e, portanto, com mais equipamentos e mais gastos elétricos.

| Consumo Mensal (V5) | Potência [kW] | Tempo de funcionamento diário [h] | Tempo de funcionamento Mensal [h] | Consumo mensal [kWh] |
|----------------------------|----------------------|--|--|-----------------------------|
| Frigorífico | 1 | 4 | 120 | 120 |
| Iluminação Cozinha | 0,2 | 4 | 120 | 24 |
| Máquina da Louça | 0,78 | 0,8 | 25 | 19,5 |
| Forno Elétrico | 2,5 | 1 | 30 | 75 |
| Ferro de Engomar | 0,8 | 0,6 | 20 | 16 |
| Máquina da Roupas | 0,48 | 0,6 | 20 | 9,6 |
| Computador (x4) | 0,25 | 12 | 360 | 90 |
| Micro-Ondas (x2) | 1 | 0,3 | 10 | 10 |
| Televisão | 0,15 | 4 | 120 | 18 |
| Placa Elétrica | 1,5 | 2 | 60 | 90 |
| Máquina de Café | 1,2 | 1 | 30 | 36 |
| Exaustor | 0,12 | 1 | 30 | 3,6 |
| Aparelhagem de som | 0,5 | 3 | 90 | 45 |
| Impressora (x2) | 0,09 | 4 | 120 | 10,8 |
| Iluminação Sala | 0,25 | 2 | 60 | 15 |
| Iluminação Quarto | 0,15 | 4 | 120 | 18 |
| Iluminação Casa de Banho | 0,15 | 4 | 120 | 18 |
| Ar Condicionado | 1,8 | 5 | 150 | 300 |
| Aquecimento Elétrico | 1,5 | 5 | 150 | 225 |
| Televisão Quarto 1 | 0,1 | 3 | 90 | 9 |
| Televisão Quarto 2 | 0,1 | 4 | 120 | 12 |
| Televisão Cozinha | 0,15 | 4 | 120 | 18 |
| Iluminação escritório | 0,2 | 4 | 120 | 24 |
| | | | Total Mensal | 1207 kWh |

Tabela 3 - Estimativa do consumo mensal de uma moradia V5.

Obteve-se assim um consumo médio de 5kWh diários para o T1 e um consumo de 40kWh diários para o V5. Para ampliar ainda mais o leque de resultados, foi escolhido uma padaria, com fabrico próprio, com níveis de consumos superiores aos dois cenários anteriores.

| | Vazio [kWh] | Super Vazio [kWh] | Ponta [kWh] | Cheia [kWh] | Consumo Total [MWh] |
|-----------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| Janeiro | 3353 | 3387 | 2228 | 5689 | 14,6 |
| Fevereiro | 3254 | 3251 | 2182 | 5525 | 14,21 |
| Março | 3659 | 3437 | 2348 | 5823 | 15,26 |
| Abril | 3258 | 3208 | 2194 | 5356 | 14,02 |
| Maio | 298 | 3773 | 2316 | 5700 | 12,09 |
| Junho | 3135 | 3763 | 2452 | 6559 | 15,91 |
| Julho | 3354 | 3963 | 2857 | 7124 | 17,30 |
| Agosto | 3308 | 3827 | 2570 | 6569 | 16,27 |
| Setembro | 3077 | 3623 | 2381 | 5738 | 14,82 |
| Outubro | 3124 | 3589 | 2205 | 5717 | 14,64 |
| Novembro | 3119 | 3522 | 2201 | 5699 | 14,54 |
| Dezembro | 3460 | 3515 | 2346 | 6221 | 15,54 |

Tabela 4 – Estimativa de consumo Elétrico de uma Padaria com fabrico próprio.

Introdução dos consumos no PVSOL

Após estimar os consumos para os três cenários procede-se a introdução desses dados no software.

Perfil de carga resultante do consumo mensal/anual, sistema de compensação de...

Nome: T1 Consumo

1 Período da tarifa *Se houver mais que um período de tarifa, então defina primeiro a tarifa na tela Análise Financeira e retorne depois para preencher o consumo na tabela abaixo.*

☐ Valor anual

☒ Valores mensais

| Mês | Período da tarifa 1 [kWh] |
|------|---------------------------|
| Jan | 126 |
| Fev | 126 |
| Mar | 126 |
| Abr | 126 |
| Maio | 126 |
| Jun | 126 |
| Jul | 126 |
| Ago | 126 |
| Set | 126 |
| Out | 126 |

Figura 10 - Introdução dos consumos estimados no PVSol.

Como alguns parâmetros iriam manter-se constantes durante todas as simulações fotovoltaicas mantiveram-se pré-definidos: Sombreamento: 0%; Tempo de vida: 25 anos, 80%; Inclinação: 35°; e Orientação: Sul.

Introdução dos painéis híbridos e fotovoltaicos no programa

O último passo consiste na introdução nos painéis híbridos no software, o que não é necessário fazer no caso dos painéis fotovoltaicos que já se encontravam na base de dados do PV*Sol.

| Marca | Jinko 250 | Rec 250 |
|---------------------|-----------|---------|
| A [m ²] | 1,63 | 1,65 |
| P [W] | 250 | 250 |
| Voc | 38 | 37,4 |
| Icc | 8,92 | 8,86 |
| Tipo de Célula | Poli | Poli |
| Garantia | 10 | 10 |
| Número de Células | 60 | 60 |
| Rendimento [%] | 15.27% | 15.2% |

Tabela 5- Características elétricas dos painéis fotovoltaicos.

Por sua vez, os painéis híbridos foram inseridos manualmente com a informação das Datasheets na base de dados do PV*Sol através do editor da base de dados.

| Marca | Dual Sun | Fototherm AL | Fototherm CS | PowerTherm |
|-----------------|----------|--------------|--------------|------------|
| Área Total [m2] | 1,66 | 1,60 | 1,6 | 1,42 |
| P [W] | 250 | 290 | 220 | 190 |
| Rendimento [%] | 15,4 | 17,6 | 13,7 | 12 |
| Voc | 38,5 | 39,3 | 36,6 | 45,2 |
| Icc | 8,55 | 9,8 | 8,09 | 5 |
| Vmpp | 30,7 | 31,3 | 29,2 | 36,4 |
| Imp | 8,15 | 9,25 | 7,53 | 4,67 |
| Nº de Células | 60 | 60 | 60 | 72 |

Tabela 6- Características Elétricas dos Painéis Híbridos.

Inseriram-se dados como a tensão de circuito aberto, a corrente de curto circuito, rendimento, tipos de células e potência.

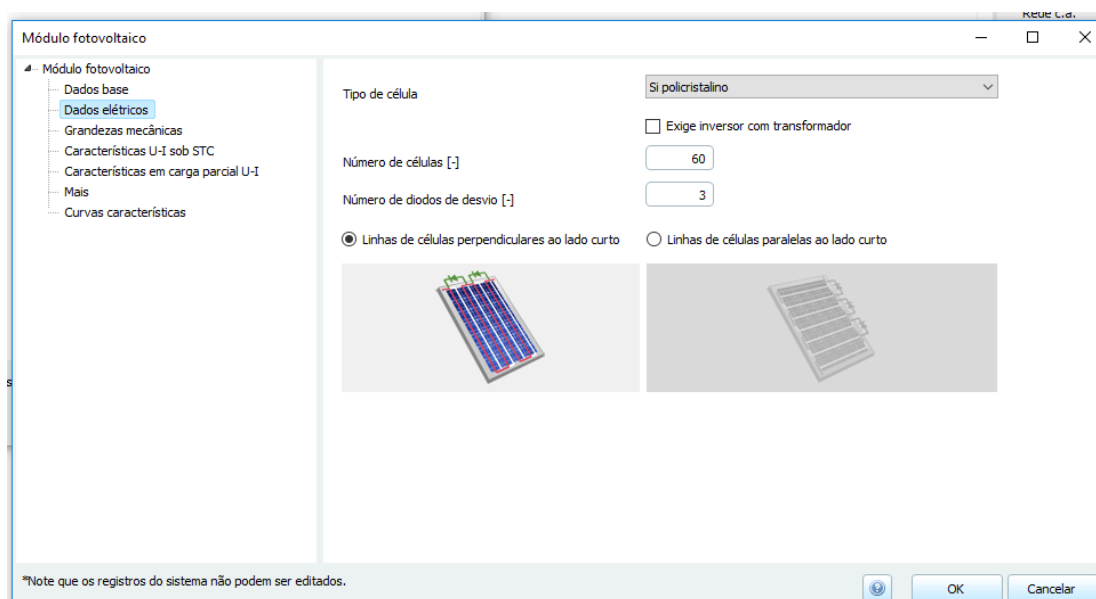


Figura 11 - Características Elétricas dos painéis em estudo.

Escolha do inversor

O inversor tem como principal função converter a energia elétrica gerada pelo painel de corrente contínua para corrente alternada, mas também tem como papel secundário garantir a segurança do sistema e medir a energia produzida pelos painéis solares.

Para cada painel foi escolhido um inversor compatível com a sua potência de forma a não afetar os rendimentos.

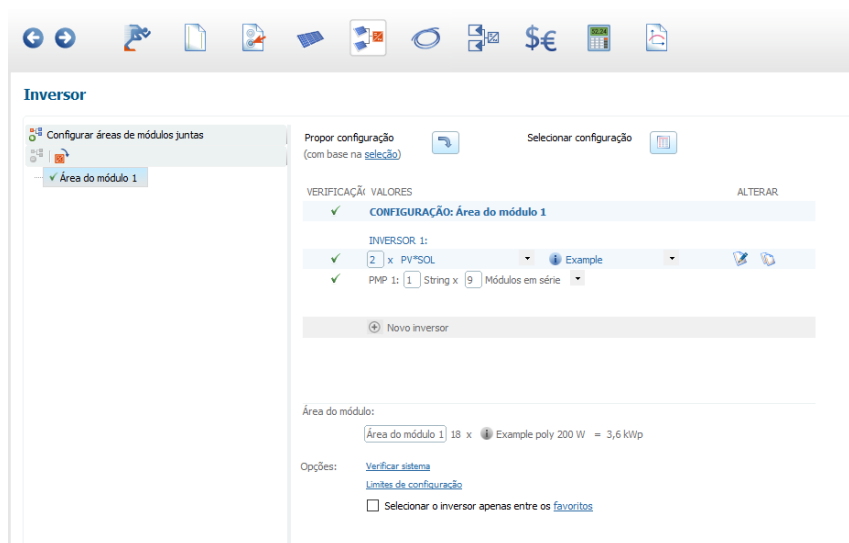


Figura 12 - Escolha do inversor no PVSOL.

Simulação Térmica

De modo a simular a energia produzida associada ao aquecimento de águas sanitárias foi usado o Software Solterm, um programa de análise de desempenho de sistemas solares térmicos, através de simulação numérica de balanços energéticos ao longo de um ano de referência, concebido para as condições climáticas e técnicas de Portugal.

Seleção do Local em estudo

Como já foi referido, nas simulações fotovoltaicas o local influencia bastante a quantidade de energia produzida, portanto, numa primeira fase, é necessário começamos por selecionar o local em estudo neste caso: Lisboa e Covilhã.

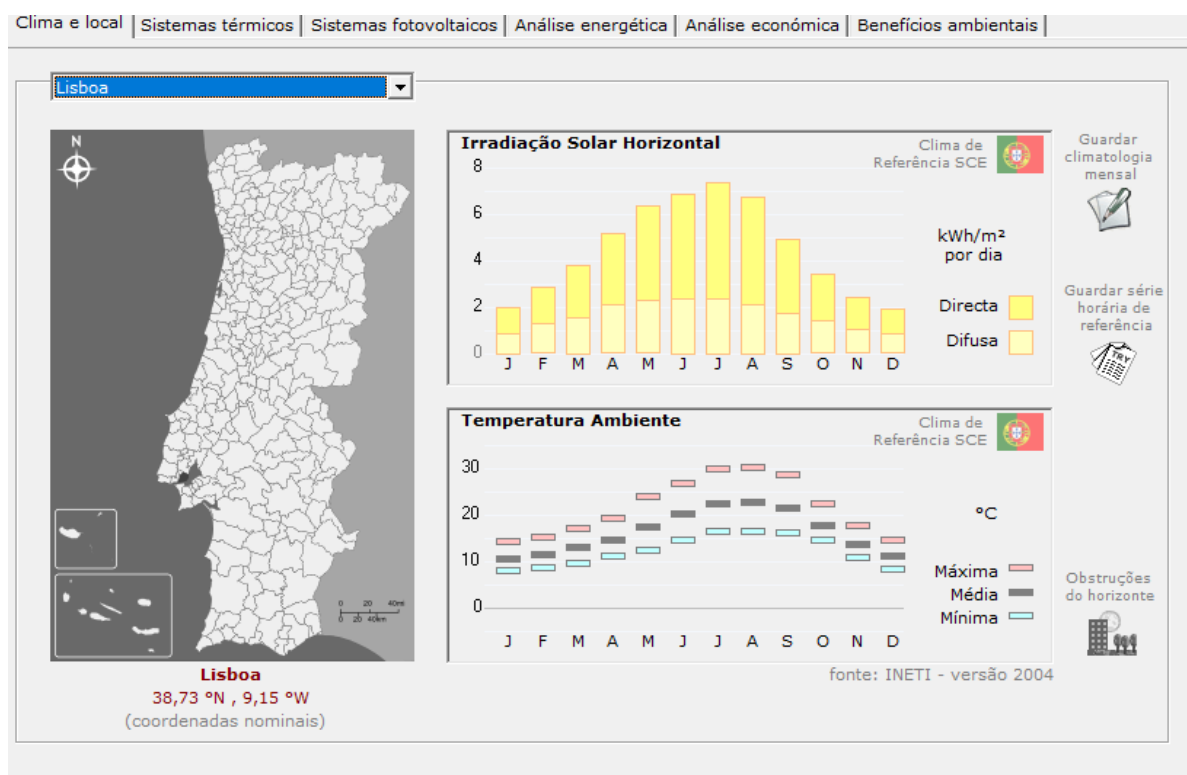


Figura 13 - Seleção do local em estudo no Solterm.

Depois da escolha do local definiram-se como parâmetros constantes o azimute para sul, inclinação de 35° e sombreamento de 0%.

Estimativa de consumo de AQS

Para a simulação térmica foi estipulado que um indivíduo necessita em média de 40 litros por dia, como previsto em ADENE, Legislação da Certificação Energética Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013). Usando este valor, e considerando que no apartamento T1 moram 2 pessoa, obtém-se uma necessidade de 80L diários para o apartamento T1 (2 pessoas), e uma necessidade de 240L diários para a moradia V5 (6 pessoas).

The screenshot shows the 'Consumos regulamentares de águas quentes (RCCTE)' interface. Under 'Parâmetros a declarar', 'edificio residencial' is selected. The building description is '1 alojamentos 2 ocupantes'. The 'Tipologias presentes' row shows '0 T0', '1 T1', '0 T2', '0 T3', '0 T4', '0 T5', and '0 T6'. The reference consumption section states: 'Temperatura da água de abastecimento: 15°C', 'Temperatura nominal de consumo: 60°C', and 'Para preparação de águas quentes: 80 l (4,2 kWh)'. The 'Compatibilidade RCCTE' section has a checked box for 'usar no Projecto e ajustar o restante deste de acordo com valores de referência do RCCTE e boas práticas'. At the bottom are buttons for 'guardar e usar' and 'sair (apenas)'.

Figura 14 - Consumo Mínimo (T1 com 2 pessoas).

The screenshot shows the 'Consumos regulamentares de águas quentes (RCCTE)' interface for a building with 6 occupants. Under 'Parâmetros a declarar', 'edificio residencial' is selected. The building description is '1 alojamentos 6 ocupantes'. The 'Tipologias presentes' row shows '0 T0', '0 T1', '0 T2', '0 T3', '0 T4', '1 T5', and '0 T6'. The reference consumption section states: 'Temperatura da água de abastecimento: 15°C', 'Temperatura nominal de consumo: 60°C', and 'Para preparação de águas quentes: 240 l (12,6 kWh)'. The 'Compatibilidade RCCTE' section has a checked box for 'usar no Projecto e ajustar o restante deste de acordo com valores de referência do RCCTE e boas práticas'. At the bottom are buttons for 'guardar e usar' and 'sair (apenas)'.

Figura 15- Consumo Máximo (V5 com 6 pessoas).



Figura 16 - Perfil de temperatura de consumo e à entrada.

Distribuição do consumo

De forma a tornar a simulação mais realista, definiu-se um cenário onde 40% do consumo acontece da parte da manhã, 20% a meio do dia e os restantes 40% ao final do dia.

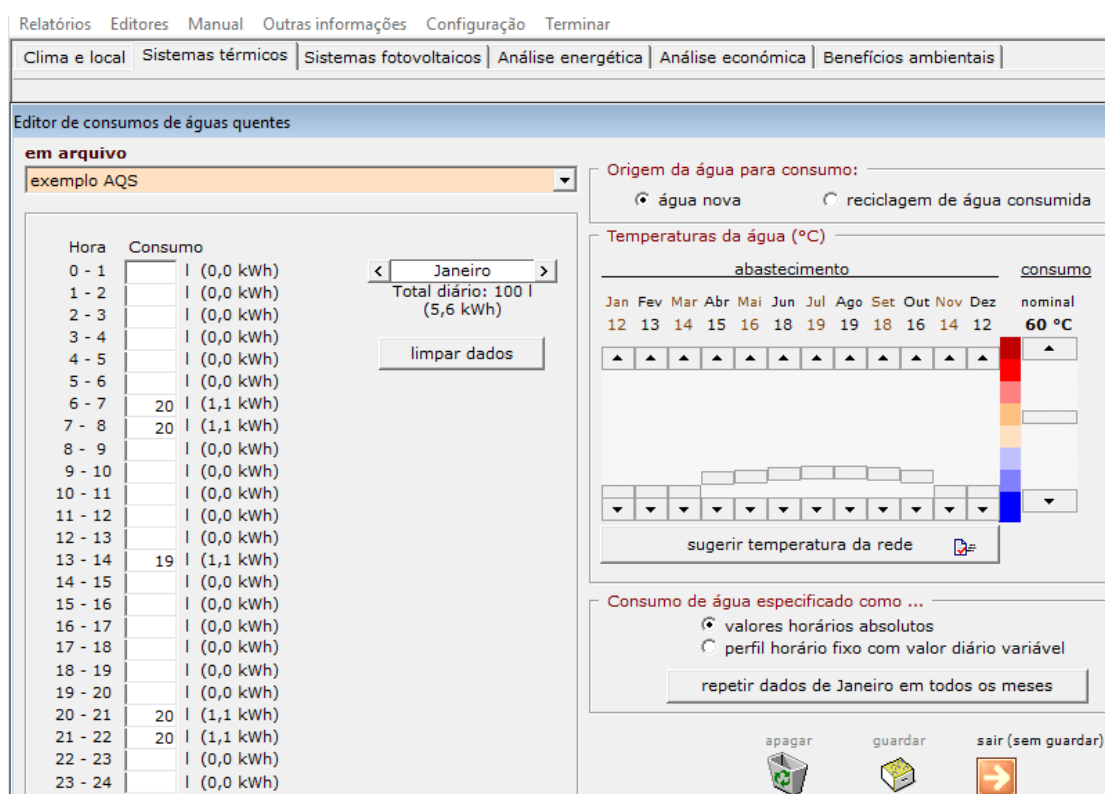


Figura 17 - Distribuição dos Consumos.

Apoio do Sistema Térmico

De forma a não interferir com as simulações e uma vez que seria uma constante deixou-se o sistema de apoio (gás) nas opções padrão.

- Sistema de apoio

☐ Eléctrico ☐ Gás propano ☐ Gasóleo (de aquecimento)
☒ Gás butano ☐ Outro
☐ Gás natural

Rendimento global do sistema (relativamente ao PCI): %
 PCI (Poder Calorífico Inferior): kWh /


 sugerir

Figura 18 - Sistema de Apoio.

Escolha do depósito de Armazenamento

Na escolha dos depósitos seleccionaram-se os que melhor se adaptavam às necessidades de cada caso, por exemplo para o T1 um único depósito de 100L, pois o consumo diário seria de 80L, e para o V5 um depósito de 300L, bem-adaptado a um consumo é de 240L diários.

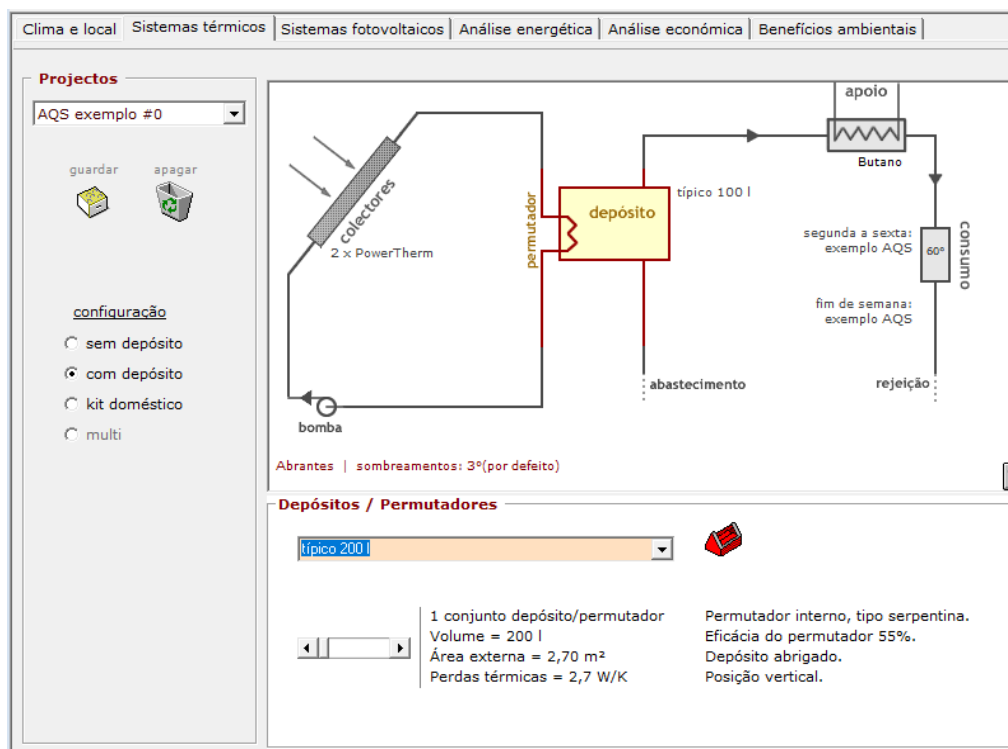


Figura 19 – Seleção dos Depósitos consoante as necessidades.

Introdução dos coletores usados no programa

A partir das *datasheets* recolhidas introduziram-se todos os coletores térmicos e híbridos no Solterm, mais especificamente no editor, colocando os parâmetros como a área do painel, área de abertura, rendimento e coeficientes de perdas.

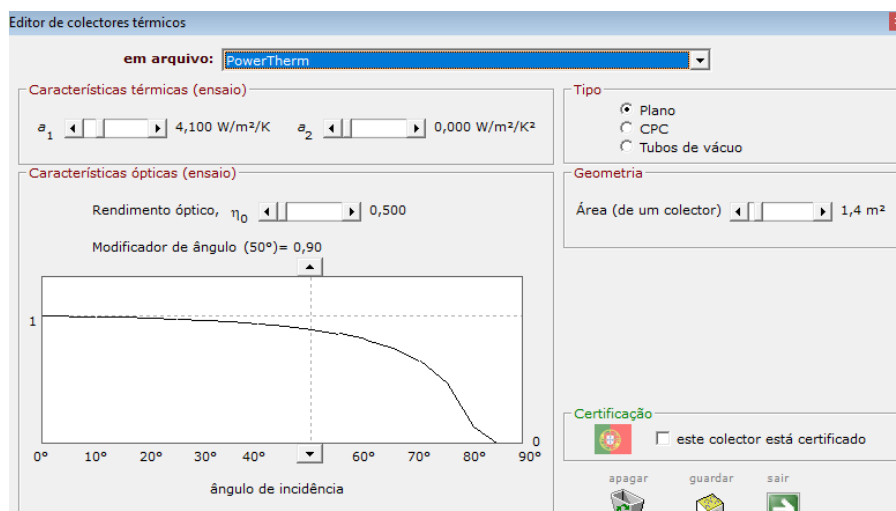


Figura 20 - Introdução do Fototherm no sistema Solterm.

| Marca | Dual Sun | F. Therm. AL | F. therm CS | PowerTherm | Baxi sol | Kaplan |
|-------|----------|-----------------|----------------|------------|-------------|--------|
| [m²] | 1,66 | 1,60 | 1,6 | 1,42 | 2,51 | 1,90 |
| [m²] | 1,65 | 1,58 | 1,59 | 1,4 | 2,37 | 1,84 |
| η [%] | 51 | 58,3 | 56 | 49 | 87 | 78 |
| a1 | 11,4 | 6,08 | 9,12 | 4,1 | 3,48 | 4,7 |
| a2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,01 |

Tabela 7 - Características Térmicas dos coletores em estudo retiradas das Datasheets.

Também se correram simulações com os mesmos coletores no SCE.re, mas, como os resultados foram praticamente idênticos, foram escolhidos os do Solterm.

Numa fase posterior avaliou-se também a eficiência dos painéis em maior número para uma padaria padrão com um consumo de cerca 700 litros diários.

Após correr as várias simulações pelo Solterm foram obtidos os resultados que serão apresentados no capítulo seguinte.

Estudo de uma solução do tipo bomba de calor + PV

Uma alternativa aos sistemas solares térmicos para o aquecimento de água são as bombas de calor alimentadas com fotovoltaico, um sistema que permite a absorção de energia térmica no ar exterior e usa esta energia para assegurar o aquecimento da água. O sistema é composto por um ventilador, que recolhe o ar ambiente, transferindo a sua energia para o agente refrigerante (e.g. R-744) no evaporador, promovendo assim a sua passagem do estado líquido ao estado gasoso. Este gás é adicionalmente aquecido por compressão. O sistema integra também um condensador, onde o gás transfere o seu calor acumulado para o reservatório da água, incluindo o calor latente correspondente à sua passagem novamente ao estado líquido. Este sistema tem normalmente como apoio uma resistência elétrica que é utilizada para o aquecimento de água sempre que a bomba de calor não produza a quantidade necessária de água quente. Este tipo de sistemas pode ser alimentado com recurso eletricidade conseguida através de painéis solares fotovoltaicos tornando este sistema ainda mais eficiente.

Uma das principais vantagens desta combinação, além de ser mais eficiente que um coletor térmico, é a opção de reutilização do painel solar fotovoltaico para autoconsumo ou para injeção de eletricidade na rede aquando não se esta a utilizar o sistema para AQS, o que se assemelha bastante com os painéis híbridos, podendo considerar-se como concorrência direta.

O maior inconveniente desde sistema é o mesmo dos painéis híbridos, um investimento relativamente elevado devido ao elevado número de componentes: Bomba de Calor AQS; Painéis Fotovoltaicos; Micro-inversores; Depósito; Resistência do Depósito (para elevar a água até aos 60°); Estrutura de apoio; Kit de ligação entre a bomba e o painel.

Introduzindo a bomba de calor na equação energética estudaram-se no capítulo dos resultados duas situações distintas primeiramente na combinação da bomba de calor com apoio fotovoltaico e posteriormente num cenário em que temos a bomba de calor combinada com os painéis híbridos de forma a compensar a fraca produção térmica do PVT.

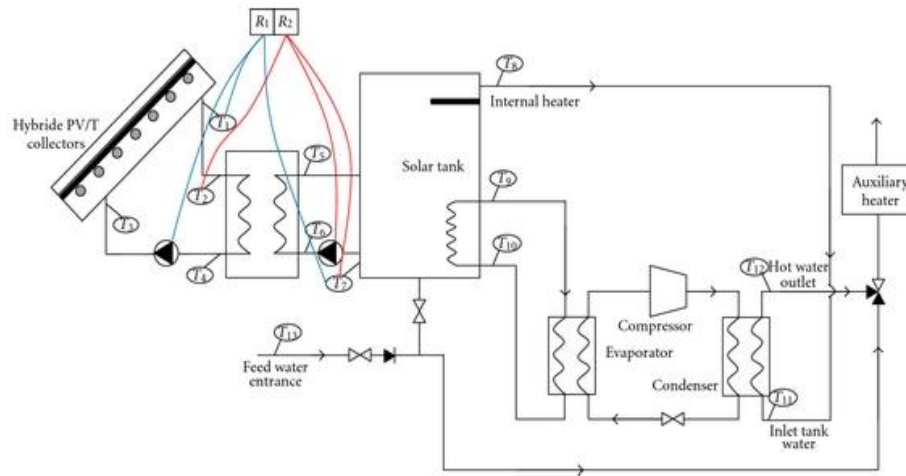


Figura 21 – Exemplo de um Sistema PVT + Bomba de calor.

Capítulo 3 - Resultados

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos através das simulações, de maneira a concluir sobre a viabilidade dos painéis híbridos, comparando a sua performance nos diferentes cenários, com as soluções dos painéis *standard*. Através dos resultados de produção conseguidos nas simulações efetuou-se uma análise económica para estudar a opção mais rentável quer a nível de investimento e período de retorno.

Resultados das Simulações

Resultados da simulação fotovoltaica

Após toda a fase inicial de parametrização foram no total feitas 36 simulações, onde se teve em consideração a produção de 6 painéis (4 híbridos e 2 elétricos) para três cenários de dimensões diferentes (T1, V5, Padaria) localizados em duas cidades distintas (Lisboa e Covilhã).

Nas tabelas 8 (Lisboa) e 9 (Covilhã) apresentam-se os resultados de todas as simulações de produção fotovoltaica anual, para os quatro painéis híbridos e para os dois painéis fotovoltaicos.

| Produção Fotovoltaica | [kWh] | | | | | |
|--------------------------|-------------|-----------------|--------------|----------------|-------|------|
| | Dual Sun | Fototherm AL | Fototherm CS | Power Therm | Jinko | Rec |
| Apart. (1 Pannel) | 404 | 463 | 402 | 288 | 428 | 419 |
| Moradia (5 Painéis) | 2001 | 2314 | 2009 | 1432 | 2139 | 2094 |
| Padaria (10 Painéis) | 3947 | 4567 | 3961 | 2817 | 4217 | 4128 |

Tabela 8 - Simulação Fotovoltaica em kWh por ano para Lisboa para os painéis híbridos.

| Produção Fotovoltaica | [kWh] | | | | | |
|--------------------------|-------------|-----------------|--------------|----------------|-------|------|
| | Dual Sun | Fototherm AL | Fototherm CS | Power Therm | Jinko | Rec |
| Apart. (1 Pannel) | 403 | 454 | 399 | 280 | 410 | 405 |
| Moradia (5 Painéis) | 1998 | 2300 | 2002 | 1424 | 2139 | 2090 |
| Padaria (10 Painéis) | 3922 | 4545 | 3956 | 2802 | 4200 | 4120 |

| Produção Fotovoltaica | [kWh / W _p] | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|--------------|--------------|------------|-------|------|
| | Dual Sun | Fototherm AL | Fototherm CS | PowerTherm | Jinko | Rec |
| Apart (1Painel) | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 1,5 | 1,7 | 1,7 |
| Morada (5 Painéis) | 8,0 | 8,0 | 9,1 | 7,5 | 8,6 | 8,4 |
| Padaria (10 Painéis) | 15,8 | 15,7 | 18,0 | 14,8 | 16,9 | 16,5 |

Tabela 9 - Simulação Fotovoltaica em kWh por ano para a Covilhã.

De forma a poder comparar os desempenhos dos diferentes painéis fez-se uma análise por watt pico, apenas para a cidade Lisboa, uma vez que os resultados foram semelhantes para as duas localidades. Os resultados obtidos apresentam-se na tabela 10.

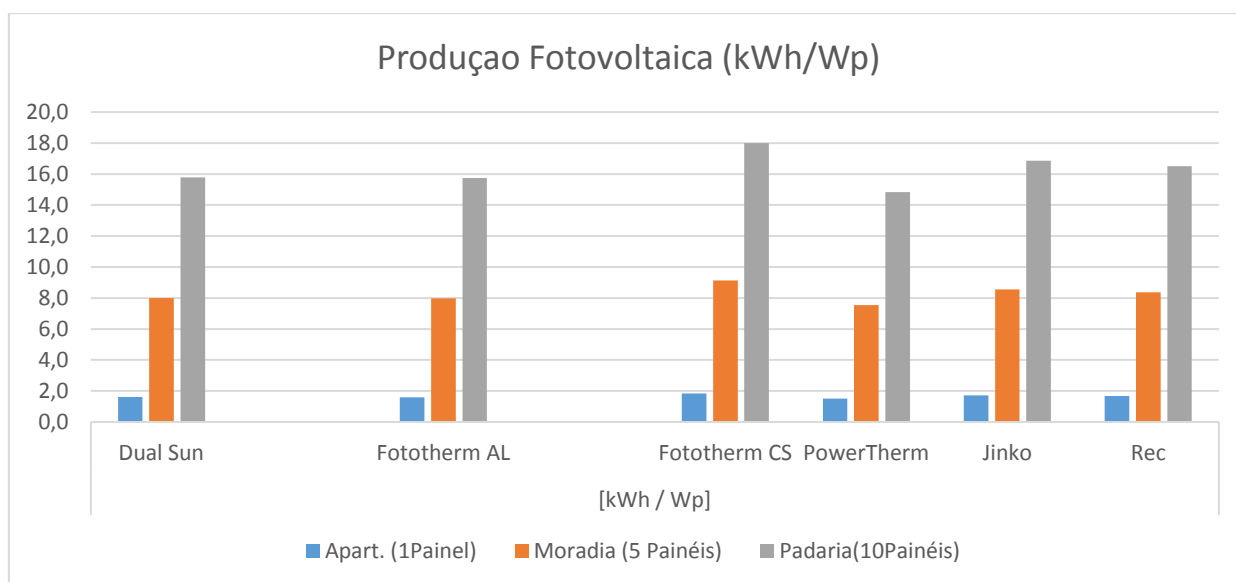


Figura 22 - Produção Elétrica por Watt pico dos diferentes painéis em Lisboa.

A análise destes resultados permite concluir que os valores de previsão de produção elétrica anual por Wp instalado são semelhantes para todos os painéis (média de 1.63kWh por ano por Wp), destacando-se ligeiramente o painel híbrido Fototherm CS (1.81kWh por ano por Wp) seguido do painel fotovoltaico Jinko 250 (1.68kWh por ano por Wp) Não parece, portanto, existir uma diferença significativa nos níveis de produção elétrica entre os painéis solares híbridos e os painéis solares fotovoltaicos. No entanto, importa referir que os primeiros permitem ainda fazer a preparação de AQS, ficando assim aparentemente em vantagem relativamente aos painéis solares. Outro ponto positivo para os painéis híbridos é que, nestas simulações, não se teve em conta a influência do sobreaquecimento das células fotovoltaicas no seu rendimento como foi mencionado no início da dissertação.

Resultados da Simulação Térmica

Apresentam-se seguidamente os resultados das simulações térmicas efetuadas. Foram simulados os resultados de produção anual de energia térmica para os 4 painéis híbridos (primeiras quatro colunas) e os 2 painéis térmicos, nas três configurações já mencionadas, para os dois climas objeto de estudo.

| Produção Térmica | [kWh] | | | | | |
|----------------------|----------|--------------|--------------|------------|-------|--------|
| | Dual Sun | Fototherm AL | Fototherm CS | PowerTherm | Baxi | Kaplan |
| Apart. (1 Pannel) | 499 | 637 | 585 | 547 | 1232 | 973 |
| Moradia (5 Painéis) | 2041 | 3274 | 2781 | 3111 | 7000 | 5543 |
| Padaria (10 Painéis) | 4258 | 6240 | 5267 | 5971 | 12100 | 9681 |

Tabela 10 - Simulação Térmica em kWh para Lisboa.

| Produção Térmica | [kWh] | | | | | |
|----------------------|----------|--------------|--------------|------------|-------|--------|
| | Dual Sun | Fototherm AL | Fototherm CS | PowerTherm | Baxi | Kaplan |
| Apart. (1 Pannel) | 424 | 575 | 513 | 501 | 1168 | 904 |
| Moradia (5 Painéis) | 1709 | 2940 | 2413 | 2828 | 6593 | 5100 |
| Padaria (10 Painéis) | 3588 | 5636 | 4602 | 5453 | 12600 | 9823 |

Tabela 11- Simulação Térmica em kWh para a Covilhã.

À semelhança do que foi feito anteriormente no caso das produções elétricas, para poder realizar uma comparação dos diferentes painéis, procedeu-se à normalização das suas produções por metro quadrado, resultados que se apresentam na Tabela 13.

| Produção Térmica | [kWh / m ²] | | | | | |
|----------------------|-------------------------|--------------|--------------|------------|------|--------|
| | Dual Sun | Fototherm AL | Fototherm CS | PowerTherm | Baxi | Kaplan |
| Apart. (1 Pannel) | 312 | 390 | 365 | 390 | 513 | 540 |
| Moradia (5 Painéis) | 255 | 409 | 347 | 444 | 580 | 613 |
| Padaria (10 Painéis) | 266 | 390 | 329 | 426 | 557 | 588 |

Tabela 12 - Simulação Térmica em kWh por metro quadrado para Lisboa.

Em primeiro lugar podemos concluir que, tal como na simulação fotovoltaica, a diferença de produção para as duas cidades, Lisboa e Covilhã não é muito notável. Podemos ainda observar que a nível térmico, os painéis solares híbridos produzem consideravelmente menos que os painéis solares térmicos, o que provavelmente acontece pois, tal como foi dito no capítulo 2, o absorvedor dos painéis térmicos tem características específicas para absorver o máximo de radiação e refletir o mínimo de radiação possível enquanto no painel híbrido o que faz o papel

de absorção são os módulos fotovoltaicos que têm um coeficiente de absorção menor que um coletor térmico normal, permitindo várias perdas por reflexão.

Resultados da Bomba de Calor

Para esta simulação foi usada a bomba de calor da marca Nuos, marca apenas focada em equipamentos dedicados ao aquecimento. Na sua data sheet indica-se um COP com um valor típico de 2,90, o que significa que por cada unidade de potência elétrica utilizada é entregue o equivalente a 2,90 kW de potência térmica. Embora sabendo que o COP de uma máquina térmica varia ao longo do ano devido a fatores como a temperatura exterior, nesta simulação fez-se a aproximação de manter o COP constante.

| | |
|-----------------|------|
| Bomba de Calor | Nuos |
| Deposito [L] | 100 |
| COP | 2,90 |
| Garantia [anos] | 10 |
| Preço [€] | 880 |

Tabela 13 - Dados Bomba de Calor Nuos.

Para o funcionamento elétrico da bomba de calor, serve de apoio um kit fotovoltaico, tendo-se escolhido para tal um painel fotovoltaico da marca Jinko uma vez que foi o que obteve melhores resultados na simulação fotovoltaica. Nesta secção da bomba de calor necessita-se calcular uma nova necessidade elétrica e redimensionar as necessidades elétricas para um T1 que esteja equipado com bomba de calor e PV.

A necessidade elétrica total a ser colmatada pelo Jinko, neste cenário, será a soma das necessidades elétricas estimadas para o T1, referidas na Tabela 2, com as necessidades térmicas de um apartamento T1 divididas pelo COP da bomba de calor.

$$\text{---} \quad (5)$$

Para o cálculo da necessidade térmica de um apartamento T1 considerou-se a habitação de duas pessoas com um consumo diário de água quente de 40L/pessoa, a temperatura ambiente de 25 graus, a de uso 60 graus e um calor específico para a água de 4186 J/kg.°C.

$$(6)$$

Obtendo assim 3,25 kWh por dia ou seja 101 kWh mensais, dividindo este valor pelo COP da bomba obtemos 35 kWh mensais acrescidos a necessidade elétrica do T1.

Simulando no PVsol para uma necessidade elétrica de 185 kWh mensal em vez de 150 kWh obtêm-se valores muito próximos aos da simulação fotovoltaica do Jinko apenas a colmatar as necessidades elétricas da habitação, fazendo parecer assim esta uma das melhores opções. O

software sugere o uso de apenas um painel solar Jinko, produzindo 428 kWh anualmente, sendo suficiente para abater as necessidades quer térmicas quer elétricas.

Análise económica

Neste capítulo aprofunda-se a dissertação numa vertente económica passando primariamente por calcular a poupança ou receita anual. Dividindo, em cada caso, o valor do investimento necessário para cada sistema pela receita anual correspondente obteve-se o período de retorno simplificado, que permite avaliar a melhor solução no ponto de vista económico para o T1.

Por outro lado, preços de instalação e componentes externos não foram considerados relevantes em termos gerais de comparação pois iriam ser uma constante em todos os sistemas não influenciando os resultados.

Para o cálculo da poupança foi considerado como preço unitário da eletricidade 0,12€/kWh e do gás natural 0,06€/kWh com IVA, de acordo com portal ” <https://www.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/>” com uma Potencia Contratada de 1.15 kVA, horário simples e débito direto simples para a eletricidade e para o gás no portal ” <https://tarifasendesa.pt/> “.

Cenários

Para calcular a poupança considerou-se um cenário de uma habitação onde existia um consumo eléctrico da rede e um consumo AQS colmatado por uma Caldeira a Gás Natural, conseguindo assim calcular os euros poupados através da substituição desses sistemas da seguinte forma:

- Euros Gás - Euros poupados caso habitação tivesse os painéis híbridos em vez de gás natural para preparação AQS, calculado através da fórmula abaixo:
- Euros PV: Euros poupados na habitação caso o consumo elétrico fosse alimentado através da rede, calculado através da fórmula abaixo:

CASO 1: Habitação com PVT

Consolidou-se a informação na tabela abaixo de maneira a facilitar os cálculos, desta forma calcularam-se os valores para a poupança referente a produção de energia térmica e elétrica dos diferentes painéis híbridos. Através da poupança e do investimento inicial facilmente foram calculados o período de retorno dos investimentos.

| | Dual Sun | Fototherm AL | Fototherm CS | PowerTherm |
|-------------------------|----------|--------------|--------------|------------|
| Produção Térmica [kWh] | 470 | 572 | 509 | 511 |
| Produção elétrica [kWh] | 398 | 460 | 410 | 300 |
| Gás Natural AQS [€] | 35 | 43 | 38 | 39 |
| Autoconsumo [€] | 46 | 54 | 48 | 35 |
| Poupança Total [€] | 82 | 97 | 87 | 74 |
| Preço do painel [€] | 850 | 900 | 700 | 750 |

Tabela 14 - Cálculo da poupança no Caso 1.

A primeira informação que se retira da tabela é que dentro deste conjunto de painéis híbridos o que facilmente se consegue obter o retorno financeiro inicial é o Fototherm CS, uma vez que, apesar do Fototherm AL ser mais eficiente a nível de produção, o CS tem um retorno mais rápido devido ao seu preço. Na **Error! Reference source not found.** pode também observar-se que a poupança anual não varia muito entre os painéis rondando os 100€.

CASO 2: Habitação com Painéis *Standard*

No CASO 2 estudaram-se dois T1 com os mesmos consumos que o cenário anterior, mas desta vez equipadas com painéis com opções *standard* para desta forma comparar com o CASO 1 onde se usaram painéis híbridos.

Nas tabelas abaixo relembramos as características dos painéis *standard* que iremos usar:

| Marca | JINKO250 | REC250 |
|-------------------|----------|--------|
| A [m2] | 1,63 | 1,65 |
| P [W] | 174,9 | 250 |
| Voc [V] | 38 | 37,4 |
| Icc [A] | 8,92 | 8,86 |
| Tipo de Célula | Poli | Poli |
| Garantia [anos] | 10 | 10 |
| Número de Células | 60 | 60 |
| Rendimento [%] | 15.3% | 15.2% |
| Preço [€] | 350 | 300 |

Tabela 15 - Características dos Painéis Fotovoltaicos.

| Marca | Baxi | Kaplan |
|------------|------|--------|
| A [m2] | 2,51 | 1,9 |
| [m2] | 2,37 | 1,84 |
| η [%] | 87 | 78 |
| a_1 | 3,48 | 4,7 |
| a_2 | 0,02 | 0,01 |
| Preço [€] | 900 | 600 |

Tabela 16 - Características dos Painéis Térmicos.

Agruparam-se os painéis fotovoltaicos e térmicos em combinações fotovoltaico-térmico de maneira a satisfazer as necessidades do T1, quer elétricas quer para AQS.

- Combinação 1: Jinko + Baxi.
- Combinação 2: REC + Kaplan

Usando o mesmo modelo de cálculo da poupança utilizado anteriormente resulta a tabela abaixo onde se encontram as poupanças conseguidas através da instalação destes painéis *standard*.

| Marca | Jinko | Rec | Baxi | Kaplan |
|-------------------------|-------|-------|-------|--------|
| Produção Térmica [kWh] | ----- | ----- | 1232 | 973 |
| Produção Elétrica [kWh] | 398 | 460 | ----- | ----- |
| AQS [€] | ----- | ----- | 74 | 58 |
| Autoconsumo [€] | 47,76 | 55,2 | 48 | 35 |

Tabela 17 - Poupança anual de energia de cada painel e coletor.

| | Combinação 1 | Combinação 2 |
|--------------------|--------------|--------------|
| Poupança Anual [€] | 122 | 114 |
| Investimento [€] | 1255 | 900 |

Tabela 18 - Estudo económico para cada combinação *standard*.

Analogamente ao CASO 1 obtiveram-se também duas poupanças. Através da **Error! Reference source not found.** retira-se que com a Combinação 1 consegue-se uma poupança maior, mas no entanto devido ao seu preço obtém-se valores de período de retorno superiores o que faz a meu ver a Combinação 2 uma melhor solução energética, todos os valores associados ao investimento inicial foram verificados a partir de revendedores em Portugal, os valores apenas indicam o preço do painel, excluída montagem, manutenção e qualquer componente externo.

CASO 3: Bomba de Calor + PV

O estudo económico para o conjunto da bomba de calor com o painel fotovoltaico Jinko, baseia-se num investimento total de 1730 €. Durante a simulação percebemos que este sistema tem tudo para ser considerado a solução mais eficiente, resta saber se o valor do investimento compensa.

Para isso calculou-se a produção anual deste conjunto, sendo 428 kWh produzidos pelo sistema fotovoltaico e em que parte destes 428 kWh, foram convertidos em 1212 kWh térmicos para AQS através da bomba de calor, somando um total 1640 kWh

| | Produção [kWh] | Receita Elect. [€] | Receita Gás. [€] | Investimento [€] |
|--------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Jinko + Nuos | 1640 | 196.8 | 125.72 | 1730 |

Tabela 19 - Combinação Jinko e Nuos.

Cálculo do Período de Retorno e Cash-flow

No capítulo anterior foram feitos cálculos económicos para três casos e dentro desses mesmos casos duas situações distintas a nível da tecnologia usada para AQS antes de substituir pela nova solução energética e obtiveram-se resultados distintos para as poupanças, mas a variação entre ser uma caldeira a gás e uma caldeira elétrica foi sempre proporcional, sendo sempre o dobro no caso da caldeira elétrica, uma vez que os valores apenas variavam devido ao preço do gás e da eletricidade. Por esse motivo não é relevante continuar com duas situações distintas nesta fase comparativa.

| | Produção Anual [kWh] | Poupança Anual [€] | Investimento [€] | Período de Retorno Simples [anos] |
|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--|
| Jinko + Baxi (Standard) | 1630 | 195,6 | 1255 | 6,42 |
| Rec + Kaplan (Standard) | 1433 | 171,96 | 900 | 5,23 |
| Dual Sun (PVT) | 868 | 104,16 | 850 | 8,16 |
| Fototherm AL (PVT) | 1032 | 123,84 | 900 | 7,27 |
| Fototherm CS (PVT) | 919 | 110,28 | 700 | 6,35 |
| PowerTherm (PVT) | 811 | 97,32 | 750 | 7,70 |
| Dual Sun + Nuos (PVT+Bomba) | 2069 | 196,8 | 1730 | 8,81 |

Tabela 20 - Resumo das várias soluções energéticas.

Ao observar a

Tabela 20 apesar de ainda não ser possível construir uma ideia final de qual das soluções é a melhor, consegue-se facilmente distinguir a melhor solução dentro de cada caso através do período de retorno. Por esse motivo resta fazer uma análise económica mais detalhada das melhores soluções, mas antes de passar aos cálculos, definem-se primariamente algumas definições e formulas:

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

O TIR é a taxa de atualização que anula o VAL:

$$\text{---} \quad (9)$$

ROI – Retorno do Investimento

O valor atual líquido corresponde a diferença entre os valores atualizados das entradas e saídas de dinheiro durante o período de vida útil do equipamento.

$$\frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (10)$$

Período de Retorno

Consiste no período de recuperação do capital investido e acontece quando:

$$\text{---} \quad (11)$$

De forma a ter cálculos mais realistas teve-se em consideração um custo de manutenção anual de 30 euros por ano e uma vida útil de 25 anos para as três tecnologias, além disto considerou-se uma taxa de atualização de 3%.

Neste estudo teremos a receita que corresponde a poupança anual sem retirar os encargos, a receita líquida já contando com as despesas/encargos.

KIT Standard - Rec + Baxi:

| ESTUDO DE INVESTIMENTO – REC + BAXI | | | | | | |
|--|---------------------|------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Ano | Encargos [€] | Remuneração [€] | Receita [€] | Receita Líquida [€] | Cash-Flow [€] | Cash-Flow Atualizado [€] |
| 0 | 900 | 0,12 | 0.00 | -900 | -900 | -900 |
| 1 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | -758,04 | -762 |
| 2 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | -616,08 | -628 |
| 3 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | -474,12 | -498.4 |
| 4 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | -332,16 | -372 |
| 5 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | -190,20 | -249 |
| 6 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | -48,24 | -130 |
| 7 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 93,72 | -15,55 |
| 8 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 235,68 | 96,5 |
| 9 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 377,64 | 205 |
| 10 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 519,60 | 310 |
| 11 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 661,56 | 413 |
| 12 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 803,52 | 513 |
| 13 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 945 | 609 |
| 14 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 1,087 | 703 |
| 15 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 1,229 | 794 |
| 16 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 1,371 | 883 |
| 17 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 1,513 | 969 |
| 18 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 1,655 | 1,052 |
| 19 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 1,797 | 1,133 |
| 20 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 1,939 | 1,212 |
| 21 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 2,081 | 1,288 |
| 22 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 2,223 | 1,362 |
| 23 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 2,365 | 1,434 |
| 24 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 2,507 | 1,504 |
| 25 | 30 | 0,12 | 171,96 | 141,96 | 2,649 | 1,571 |

Tabela 21 - Estudo de investimento da combinação REC e BAXI.

Analisando a Tabela 21 retira-se que no final do período de vida do sistema, após ter amortizado o investimento inicial e todas os custos de manutenção e operação acumula-se um cash-flow atualizado de 1571 euros.

| PARÂMETRO | VALOR |
|---------------------------|----------|
| Energia Anual Produzida* | 1433 kWh |
| Investimento | 900 € |
| TIR | 15% |
| Período de Retorno (anos) | 7,14 |
| ROI | 2,347 |

Tabela 22 - Resumo de parâmetros e resultados para o sistema REC + BAXI.

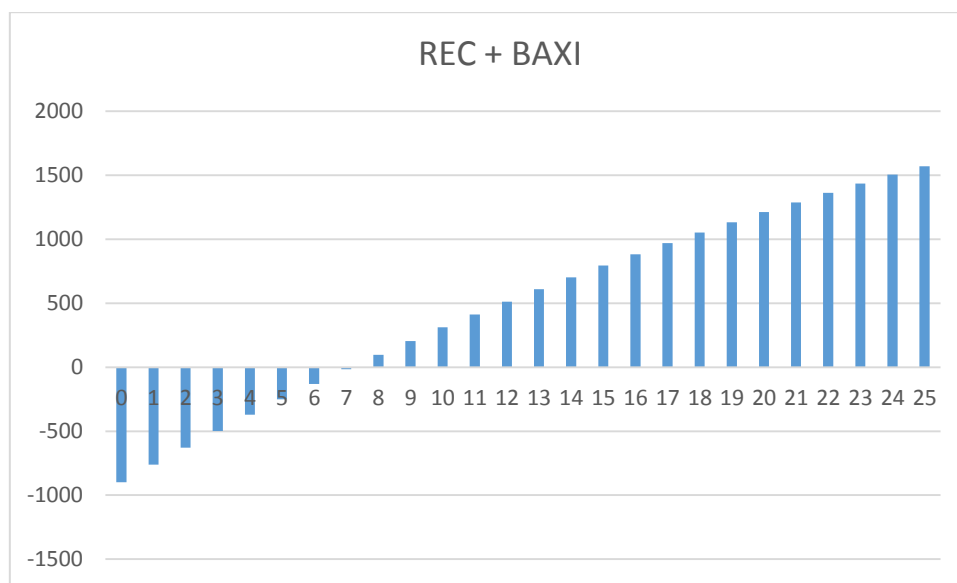


Gráfico 1 - Cash-flow atualizado para os painéis Standard.

Ao avaliar o Gráfico 1, correspondente ao cash-flow atualizado para o KIT standard, observamos que a amortização do investimento acontece aos 7 anos.

Painel Híbrido - Fototherm CS:

| ESTUDO DE INVESTIMENTO – FOTOTHERM CS | | | | | | |
|--|---------------------|------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Ano | Encargos [€] | Remuneração [€] | Receita [€] | Receita Líquida [€] | Cash-Flow [€] | Cash-Flow Atualizado [€] |
| 0 | 700 | 0,12 | 0.00 | -700.0 | -700.0 | -700 |
| 1 | 30 | 0,12 | 110,2 | 80,28 | -619 | -622 |
| 2 | 30 | 0,12 | 110,2 | 80,28 | -539 | -546 |
| 3 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | -459 | -472 |
| 4 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | -378 | -401 |
| 5 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | -298 | -332 |
| 6 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | -218 | -265 |
| 7 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | -138 | -199 |
| 8 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | -57,76 | -136.4 |
| 9 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 22,52 | -74.93 |
| 10 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 102 | -15.20 |
| 11 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 183 | 42,80 |
| 12 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 263 | 99,11 |
| 13 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 343 | 153 |
| 14 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 423 | 206 |
| 15 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 504 | 258 |
| 16 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 584 | 308 |
| 17 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 664 | 356 |
| 18 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 745 | 404 |
| 19 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 825 | 449 |
| 20 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 905 | 494 |
| 21 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 985 | 537 |
| 22 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 1,066 | 579 |
| 23 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 1,146 | 620 |
| 24 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 1,226 | 659 |
| 25 | 30 | 0,12 | 110,28 | 80,28 | 1,307 | 697 |

Tabela 23 - Estudo de Investimento para Fototherm CS.

Ao contrário do sistema anterior, repara-se que o painel híbrido no final do tempo de vida após ter amortizado o investimento apenas acumula uma poupança de aproximadamente 700 euros, ainda a somar este facto de apenas ter o retorno do investimento de volta ao final de 10 anos faz do painel híbrido uma solução fraca para colmatar as necessidades do T1.

| PARÂMETRO | VALOR |
|---------------------------|---------|
| Energia Anual Produzida* | 919 kWh |
| Investimento | 700 € |
| TIR | 10% |
| Período de Retorno (anos) | 10,26 |
| ROI | 1,706 |

Tabela 24 - Resumo de parâmetros e resultados para o sistema híbrido Fototherm CS.

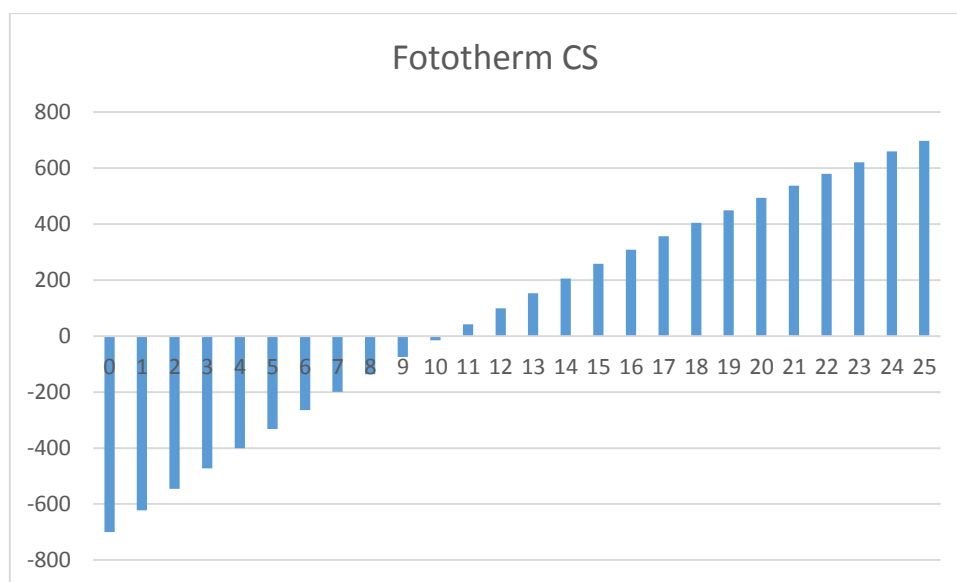


Figura 23 - Cash-flow atualizado para o painel híbrido.

Apesar do painel híbrido ter um custo inicial inferior aos sistemas *standard*, confirma-se no **Error! Reference source not found.** que a amortização do investimento acontece entre os 9 e os 10 anos, três anos superior ao sistema combinado de painéis *standard*, isto acontece devido a fraca produção térmica do painel híbrido.

Jinko + Nuos:

Apesar do combinado painel híbrido mais bomba de calor conseguir produzir 1640 kWh de energia combinada por ano, conta com um investimento de 1730 €, através da Tabela 25 retira-se se a viabilidade desta solução.

ESTUDO DE INVESTIMENTO – FOTOTHERM AL + NUOS

| Ano | Encargos [€] | Remuneração [€] | Receita [€] | Receita Líquida [€] | Cash-Flow [€] | Cash-Flow Atualizado [€] |
|-----|--------------|-----------------|-------------|---------------------|---------------|--------------------------|
| 0 | 1,730 | 0,12 | 0 | -1,730.00 | -1,730 | -1,78 |
| 1 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | -1,563 | -1,524 |
| 2 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | -1,396 | -1,277 |
| 3 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | -1,230 | -1,036 |
| 4 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | -1,063 | -803.15 |
| 5 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | -896 | -576.45 |
| 6 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | -729 | -356.36 |
| 7 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | -562 | -142.68 |
| 8 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | -396 | 64.78 |
| 9 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | -229 | 266.19 |
| 10 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | -62 | 461.74 |
| 11 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 105 | 651.59 |
| 12 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 272 | 835.91 |
| 13 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 438 | 1,014 |
| 14 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 605 | 1,188 |
| 15 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 772 | 1,357 |
| 16 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 939 | 1,521 |
| 17 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 1,106 | 1,680 |
| 18 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 1,272 | 1,834 |
| 19 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 1,439 | 1,984 |
| 20 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 1,606 | 2,129 |
| 21 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 1,773 | 2,271 |
| 22 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 1,940 | 2,408 |
| 23 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 2,106 | 2,541 |
| 24 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 2,273 | 2,670 |
| 25 | 30 | 0,12 | 196,8 | 166,8 | 2,440 | 2,796 |

Tabela 25 - Estudo de Investimento para Jinko + Nuos

| PARÂMETRO | VALOR |
|---------------------------|----------|
| Energia Anual Produzida* | 1640 kWh |
| Investimento | 1730 € |
| TIR | 14% |
| Período de Retorno (anos) | 7,69 |
| ROI | 2,197 |

Tabela 26 - Resumo de parâmetros e resultados para o sistema Fototherm AL + NUOS

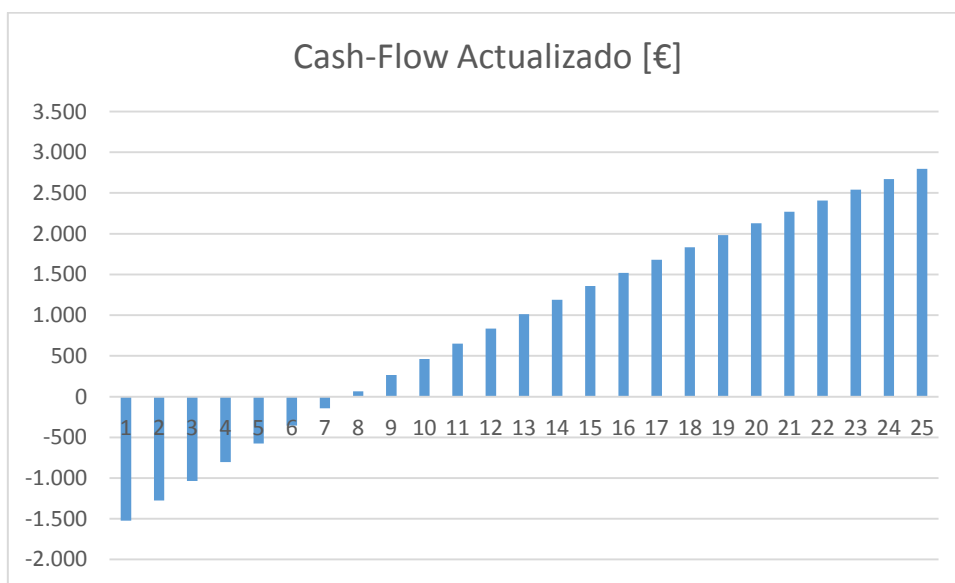


Figura 24 - Cash-flow atualizado para o combinado Jinko e Nuos.

Analisando o **Error! Reference source not found.** verifica-se que apesar do elevado custo inicial do sistema é amortizado num menor período de tempo comparativamente ao do painel híbrido, além deste facto ao final de 25 anos obtém-se uma poupança acumulada de quase 3000 € o que faz desta tecnologia de entre as três estudadas a melhor solução energética.

Conclusões

Esta dissertação teve por objetivo estudar a viabilidade dos painéis híbridos quer a nível de eficiência energética como também económico. Como foi mencionado anteriormente, os painéis híbridos já são alvos de estudo há alguns anos, mas, no entanto, não existem implementados em grande número no mercado renovável e foi exatamente este ponto que levou ao interesse em estudar este tema.

Durante a revisão bibliográfica do tema grande parte da informação que foi encontrada referia-se à refrigeração das células fotovoltaicas através de um sistema semelhante a um coletor térmico na parte traseira do PVT, conseguindo obter melhor eficiência do que um painel fotovoltaico standard e produzir energia térmica extra, mas por outro lado existe pouca informação relativa ao fraco rendimento térmico do PVT devido ao fato da maior parte da energia solar ser absorvida pelas células fotovoltaicas e não atingir a serpentina colocada na parte traseira do PVT.

Psto isto passou-se ao estudo da performance do painel híbrido através de simulações térmicas e fotovoltaicas, recorrendo aos *softwares* Solterm e PVSol.

De maneira a ter termos de comparação fizeram-se exatamente as mesmas simulações para dois coletores térmicos e dois painéis fotovoltaicos. Tal como esperado a produção térmica dos PVT é significativamente menor do que a dos coletores térmicos. A nível da produção fotovoltaica verificou-se que, em alguns casos, é ligeiramente superior. Desta forma percebeu-se que o estudo da produção é insuficiente para retirar conclusões pelo que surgiu a necessidade da realização de um estudo económico.

O estudo económico foi realizado apenas para a habitação T1. Foram considerados três opções distintas para satisfazer as necessidades energéticas desta: um kit de painéis standard (Coletor Térmico e Painel fotovoltaico), PVTs e Bomba de Calor. A partir dos resultados de produção energética foi calculada a poupança anual e tendo em conta investimento inicial calculou-se o Período de Retorno e o Cash-flow.

Através destes parâmetros concluiu-se que o painel híbrido não é a melhor solução devido ao seu elevado período de retorno comparativamente aos outros sistemas. O custo inicial do painel híbrido é de 700 €, o do KIT standard é de 900 € e do combinado bomba de calor mais painel híbrido é de 1730 €. No painel híbrido obteve-se um período de retorno de 10 anos enquanto que no sistema standard este foi de 6 anos. O maior período de retorno deve-se à fraca produção térmica que é insuficiente para colmatar o custo inicial elevado. A poupança acumulada após o período de vida para o painel híbrido foi de 697 €, a dos painéis standard foi 1571 €. Por outro lado, a combinação do sistema Bomba de calor com painel híbrido, apesar de ser um sistema com um investimento inicial mais elevado, consegue obter uma poupança acumulada de 2700 €.

Concluindo, os painéis híbridos instalados em modo independente não são ainda uma opção realista devido ao seu fraco rendimento térmico e elevado custo inicial tendo também em consideração todos os componentes externos e preços de instalação, por agora é mais conveniente ter sistemas independentes para suportar as necessidades de uma habitação.

Referências Bibliográficas

- [1] “Datasheet Módulo Dual Sun.” [Online]. Available: <https://dualsun.fr/product/2-in-1-solar/dualsun-en-datasheet/> [Accessed: 15-Nov-2017].
- [2] “Datasheet Módulo Fototherm AL.” [Online]. Available: <http://cooltec.ch/pdf/PVT%20TECHNICAL%20DATASHEET%20%20SERIE%20AL%20%20285%20CoolTec%202016.pdf> [Accessed: 15-Nov-2017].
- [3] “Datasheet Módulo FotoTherm CS.” [Online]. Available: <http://cooltec.ch/pdf/TECHNICAL%20DATASHEET%20FOTOTHERM%20CS%20SERIES%20CoolTec%20%202016.pdf> [Accessed: 15-Nov-2017].
- [4] “Datasheet Módulo PowerTherm.” [Online]. Available: <https://www.solarchoice.net.au/blog/wp-content/uploads/Solimpeks-Data-Sheet-PowerVolt-PowerTherm.pdf> [Accessed: 18-Jan-2018].
- [5] “Componentes Sistema Termico .” [Online]. Available: <https://pt.solar-energia.net/solar-termica/componentes-instalacaof> [Accessed: 18-Jan-2018].
- [6] “Componentes Sistema Fotovoltaico .” [Online]. Available: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes> [Accessed: 4-Jan-2018].
- [7] “Preço electricidade e gás natural .” [Online]. Available: <https://lojaluz.com/preco-kwh-edp> [Accessed: 18-Jan-2018].
- [8] “Bomba de Calor .” [Online]. Available: https://energias-renovaveis-emcasa.pt/bombas_calor_aqs/f/5/t/128 [Accessed: 7-Jan-2018].
- [9] “Estudo Economico Zantia .” [Online]. Available: <https://www.zantia.com/climatizacao/energias-renovaveis/energia-solar-termica> [Accessed: 7-Jan-2018].
- [10] “Objectivos e Metas Energeticas .” [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/energias-renov%C3%A1veis> [Accessed: 7-Jan-2018].
- [11] “Influencia da temperatura no rendimento fotovoltaico.” [Online]. Available: <http://e-lee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/PanneauxPhotovoltaiques/Cellule/Temperature.htm> [Accessed: 19-Jan-2018].
- [12] “Tarifa Electricidade.” [Online]. Available: <https://www.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/> [Accessed: 19-Jan-2018].
- [13] “Tarifa Gás Natural.” [Online]. Available: <https://tarifasendesa.pt/> [Accessed: 19-Jan-2018].

- [14] “Bomba de Calor.” [Online]. Available: [https:// https://www.atlantic-conforto.pt/](https://www.atlantic-conforto.pt/) / [Accessed: 31-Oct-2018].
- [15] “Bomba de Calor.” [Online]. Available: [https:// https://www.htproducts.com/](https://www.htproducts.com/) / [Accessed: 06-Nov-2018].
- [15] “Irradiação global horizontal” [Online]. Available: [https:// https://www.solargis.info/](https://www.solargis.info/) / [Accessed: 06-Nov-2018].
- [16] "Preço Bomba de Calor "[Online] Avaiaible : http://pt.rehabilitaweb.com/tienda/climatizacion/energias-renovables/renovables/bomba-de-calor-para-ac-s-ariston-nuos-evo-80?gclid=CjwKCAiAqt7jBRACeiwAof2uKx7N5rxTKBPHnQ0s-NLLIGaNSOpOJucydRCUTh0CvRRW63KPydPoFhoCzEoQAvD_BwE [Accessed: 06-Nov-2018].
- [17] "Decrescimo da eficiencia fotovoltaica devido a temperatura "[Online] Avaiaible : http://www.ppe.ufjf.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/T%C3%A1ssio_Simioni.pdf [Accessed: 18-Jul-2019].
- [18] "Decrescimo da eficiencia fotovoltaica devido a temperatura "[Online] Avaiaible : <https://www.thegreenage.co.uk/article/the-impact-of-temperature-on-solar-panels/> [Accessed: 18-Jul-2019].